



UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

DARLEI PEREIRA DA SILVA

**ANÁLISE ESPACIAL DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL À PERDA
DE SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA QUE DRENA PARA A
BARRAGEM DE PONTO NOVO COMO FERRAMENTA PARA O
PLANEJAMENTO AMBIENTAL TERRITORIAL**

SENHOR DO BONFIM

2019

DARLEI PEREIRA DA SILVA

**ANÁLISE ESPACIAL DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL À PERDA
DE SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA QUE DRENA PARA A
BARRAGEM DE PONTO NOVO COMO FERRAMENTA PARA O
PLANEJAMENTO AMBIENTAL TERRITORIAL**

Trabalho apresentado a Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Campus Senhor do Bonfim, como requisito para obtenção do título de nível superior.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Hees de Negreiros

SENHOR DO BONFIM

2019

Silva, Darlei Pereira da

S586a Análise espacial de vulnerabilidade ambiental da Bacia hidrográfica que drena para a Barragem de Ponto Novo como ferramenta para o planejamento ambiental territorial/ Darlei Pereira da Silva. – Senhor do Bonfim - Ba, 2019

105 f.: il. ; 29 cm.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Senhor do Bonfim-Ba, Senhor do Bonfim-Ba, 2019

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Hees de Negreiros

1. Ponto Novo BA. 2. Vulnerabilidade ambiental. 3. Bacia hidrográfica. 4. Gestão ambiental integrada. 5. SIG. I. Negreiros, Gustavo Hees de (Orient.) II. Título. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 551.483098142

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Biblioteca SIBI/UNIVASF
Bibliotecário: Fábio Santiago
CRB5/1785

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

FOLHA DE APROVAÇÃO

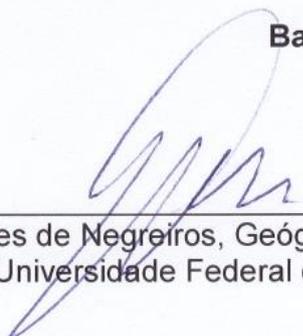
DARLEI PEREIRA DA SILVA

**ANÁLISE ESPACIAL DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL À PERDA
DE SOLO DA BACIA HIDROGRÁFICA QUE DRENA PARA A
BARRAGEM DE PONTO NOVO COMO FERRAMENTA PARA O
PLANEJAMENTO AMBIENTAL TERRITORIAL**

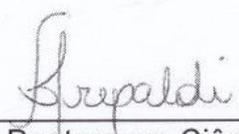
Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Licenciado em Geografia, pela Universidade Federal do Vale do São Francisco.

Aprovado em: 01 de agosto de 2019.

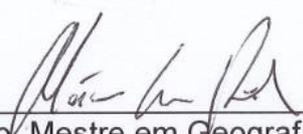
Banca Examinadora



Gustavo Hees de Negreiros, Geógrafo, Doutor em Ciências Florestais, Colegiado de Geografia, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Senhor do Bonfim, BA.



Maria Otávia Crepaldi, Bióloga, Doutora em Ciência Ambiental, Colegiado de Ecologia, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Senhor do Bonfim, BA.



Márcio Lima Rios, Geógrafo, Mestre em Geografia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Senhor do Bonfim, BA.

Dedico este trabalho a minha mãe, Jucilene Alves da Silva, e ao meu pai, Adailton Pereira da Silva que foram grandes colaboradores na minha luta pela permanência na faculdade. Dedico também a minha comunidade rural de Várzea do Mulato, local onde eu nasci e vivi a maior parte de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus por ter me mantido na trilha certa durante este projeto de pesquisa com saúde e forças para chegar até o final.

À Universidade Federal do Vale do São Francisco e a todos os professores do meu curso pela elevada qualidade do ensino oferecido.

Ao Prof. Dr. Gustavo Hees de Negreiros, pelo suporte, pelo paciente trabalho nas suas correções e incentivos.

Aos professores da banca avaliadora por contribuírem no meu trabalho.

Aos funcionários da universidade, principalmente o pessoal da limpeza por deixar a universidade maravilhosa todos os dias para as aulas.

Aos colegas da turma que sempre estiveram ao meu lado me apoiando ao longo de toda a minha trajetória.

Ao meu pai Adailton Pereira da Silva e a minha mãe Jucilene Alves da Silva que sempre estiveram ao meu lado me apoiando nos momentos mais difíceis do período que eu estive universidade e ao longo de toda a minha trajetória.

" A força da alienação vem dessa fragilidade dos indivíduos, quando apenas conseguem identificar o que os separa e não o que os une." – Milton Santos

RESUMO

Na atualidade os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) estão se tornando cada vez mais importantes na gestão ambiental. A sua capacidade de analisar grandes áreas espaciais é um ponto positivo para a análise espacial ambiental de bacias hidrográficas de forma integrada. Pensando nisso, esse trabalho traz a análise da vulnerabilidade ambiental na bacia hidrográfica que drena para a barragem de Ponto Novo, centro norte do Estado da Bahia, Brasil. A bacia tem papel importante para o abastecimento da sua região, localizada no semiárido nordestino com grandes déficits hídricos e alta sazonalidade das chuvas. A região sofre com longos períodos de escassez hídrica, fazendo com que vários municípios próximos ou dentro da bacia dependem da água proveniente das barragens ao longo da mesma. Este trabalho tem assim o objetivo de demonstrar as áreas de vulnerabilidade ambiental que se apresentam nos diferentes municípios e territórios da Bacia através de uma análise espacial ambiental integrada, criando elementos gráficos e analíticos para facilitar a gestão ambiental. A metodologia utilizada foi a elaboração de um mapa de vulnerabilidade ambiental à perda do solo por meio do Software QGis, onde foi realizada a sobreposição ponderada dos mapas temáticos de geologia, NDVI (vegetação), geomorfologia (declividade), clima (pluviosidade), proximidade de vias e áreas urbanas, uso do solo e pedologia. Através desse mapa foi possível identificar os locais críticos da bacia que drena para a barragem de Ponto Novo. Dessa forma, produzindo um trabalho que serve como ferramenta para construção de materiais didáticos e para o planejamento ambiental territorial.

Palavras-chave: Ponto Novo BA. Vulnerabilidade ambiental. Bacia hidrográfica. Gestão ambiental integrada. SIG.

ABSTRACT

At present, Geographic Information Systems (GIS) are becoming increasingly important in environmental management. Its ability to analyze large spatial areas is a plus for integrated spatial environmental analysis of watersheds. With this in mind, this work brings the analysis of the environmental vulnerability in the watershed that drains to the Ponto Novo dam, northern center of the state of Bahia, Brazil. The basin plays an important role in supplying its region, located in the northeastern semi-arid region with large water deficits and high rainfall seasonality. The region suffers from long periods of water scarcity, causing several municipalities near or within the basin to depend on water from the dams along it. This work aims to demonstrate the areas of environmental vulnerability that are present in the different municipalities and territories of the Basin through an integrated environmental spatial analysis, creating graphic and analytical elements to facilitate environmental management. The methodology used was the elaboration of a map of environmental vulnerability to soil loss through the QGIS Software, where the weighted overlap of the geology, NDVI (vegetation), geomorphology (slope), climate (rainfall), proximity of roads and urban areas, land use and pedology. Through this map it was possible to identify the critical locations of the drainage basin to the Ponto Novo dam. Thus, producing a work that serves as a tool for construction of didactic materials and for territorial environmental planning.

Key-words: Ponto Novo BA. Environmental vulnerability. Watersheds. Integrated management. GIS.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa político da Bacia que drena para Barragem de Ponto Novo	21
Figura 2 - Representação cíclica do geossistema	34
Figura 3 - Mapa de localização.....	38
Figura 4 - Mapa da rede hidrográfica da Área de estudo	40
Figura 5 - Mapa geomorfológico da Área de estudo.....	42
Figura 6 - Fluxograma das etapas.....	43
Figura 7 - Modelo 3D na Área de estudo.....	45
Figura 8 - Fluxograma da produção do Mapa de NDVI	48
Figura 9 - Fluxograma das etapas para a produção do Mapa de vulnerabilidade natural e vulnerabilidade ambiental.....	52
Figura 10 - Delimitação da Bacia que drena para a Barragem de Ponto Novo	59
Figura 11 - Mapa pedológico da área de estudo	66
Figura 12 - Mapa geológico da Área de estudo.....	69
Figura 13 - Mapa de declividade da Área de estudo	71
Figura 14 - Mapa de pluviosidade da Área de estudo	72
Figura 15 - NDVI das quatro estações de 2018 até 2019 da Área de estudo	75
Figura 16 - Mapa do NDVI da Área de estudo.....	76
Figura 17 - Mapa de proximidade de Área urbana e vias.....	78
Figura 18 - Mapa de uso do solo/terra da Área de estudo	81
Figura 19 - Vulnerabilidade nos diferentes aspectos naturais e antrópicos na Área de estudo.	83
Figura 20 - Mapas de Vulnerabilidade natural e vulnerabilidade ambiental	85
Figura 21 - Áreas prioritárias para a conservação da Área de estudo.....	90
Figura 22 - Áreas de maior atenção em relação a vulnerabilidade ambiental à perda de solo da Área de estudo	93

LISTAS DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Áreas em km ² dos solos da Área de estudo	65
Gráfico 2 - Percentual de área das classes de declividade	70
Gráfico 3 - Áreas das classes do NDVI nas estações de inverno de 2018 até outono de 2019	74
Gráfico 4 - áreas em km ² do uso do solo da área de estudo.....	80

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Áreas dos municípios dentro da Área de estudo	36
Tabela 2 - Informações dos municípios da Área de estudo	37
Tabela 3 - Bases cartográficas	44
Tabela 4 - Mapas prontos	44
Tabela 5 - Níveis de Vulnerabilidade ambiental.....	50
Tabela 6 - Ponderações das variáveis.....	50
Tabela 7 - Vulnerabilidade da Pedologia	53
Tabela 8 - Vulnerabilidade da pluviosidade	53
Tabela 9 - Vulnerabilidade da litologia	54
Tabela 10 – Vulnerabilidade da declividade	56
Tabela 11 - Vulnerabilidade da vegetação no NDVI	56
Tabela 12 - Vulnerabilidade da proximidade com o traçado urbanas e vias.....	57
Tabela 13 - Vulnerabilidade do uso do solo/terra.....	57
Tabela 14 - Estágios de vulnerabilidade	58
Tabela 15 - Cambissolo Háplico	61
Tabela 16 - Latossolo Amarelo	62
Tabela 17 - Latossolo Vermelho	62
Tabela 18 - Argissolo Vermelho.....	63
Tabela 19 - Argissolo Vermelho-Amarelo	63
Tabela 20 - Neossolo Litólico.....	63
Tabela 21 - Planossolo Háplico	64
Tabela 22 - Áreas dos tipos de solos na Área de estudo.....	64
Tabela 23 - Áreas geológicas na Área de estudo	67
Tabela 25 - Áreas dos municípios de vulnerabilidade natural dentro da Área de estudo	86
Tabela 26 - Áreas dos municípios de vulnerabilidade ambiental dentro da Área de estudo	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALOS PALSAR	Advanced Land Observing Satellite Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar
CBH Itapicuru	Comitê de Bacias Hidrográficas do Itapicuru
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DN	Digital Number (Número Digital)
EMBASA	Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GIS	Geographic Information System
GRASS	Geographic Resources Analysis Support System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEMA	Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MDE	Modelo Digital de Elevação
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NDVI	Normalized difference vegetation index
QGIS	Quantum GIS
SEPLAN	Secretaria do Planejamento do Estado da Bahia
SIG	Sistema De Informação Geográfica
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
USGS	United States Geological Survey
UTB	Unidade Territorial Básica

LISTA DE SÍMBOLOS

=	Igual
+	Mais
>	Maior
<	Menor
km	Quilômetro
km ²	Quilômetro quadrado

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	19
1.1.	CONTEXTUALIZAÇÃO DA BARRAGEM DE PONTO NOVO	20
1.2.	GESTÃO HÍDRICA PÚBLICA TERRITORIAL NA ÁREA DA BACIA QUE DRENA PARA A BARRAGEM DE PONTO NOVO	22
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	23
2.1.	VISÃO INTEGRADA DOS SISTEMAS: PENSANDO NA BACIA HIDROGRÁFICA.....	24
2.1.1.	Legislação e planejamento ambiental pertinente a recursos hídricos e bacia hidrográfica	26
2.2.	ANÁLISE AMBIENTAL E SIG	28
2.3.	ANÁLISE GEOSISTÊMICA DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL	30
2.3.1.	Relação geossistêmica e vulnerabilidade.....	32
3.	JUSTIFICATIVA	35
4.	OBJETIVO GERAL	35
5.	OBJETIVO ESPECÍFICOS	35
6.	MATERIAIS E MÉTODOS	36
6.1.	ÁREA DE ESTUDO.....	36
6.1.1.	Hidrografia da Área de estudo	37
6.1.2.	Geomorfologia da Área de estudo.....	41
6.2.	ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DOS TRABALHOS	43
6.2.1.	Levantamento bibliográfico	44
6.2.2.	Levantamento cartográfico.....	44
6.2.3.	Delimitação da bacia hidrográfica e das sub-bacias.....	45
6.2.4.	Produção dos mapas de base.....	46
6.2.5.	Zoneamentos das áreas prioritárias de conservação e de maior atenção	58
7.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
7.1.	Delimitação da bacia.....	59

7.2.	Mapeamentos de base para a vulnerabilidade natural e vulnerabilidade ambiental	60
7.2.1.	Vulnerabilidade nos aspectos naturais	60
7.2.2.	Vulnerabilidade nos aspectos antrópicos	77
7.2.3.	Vulnerabilidade natural e vulnerabilidade ambiental em partes	82
7.3.	Mapa de vulnerabilidade natural e mapa de vulnerabilidade ambiental	.84
7.3.1.	Vulnerabilidade natural nos municípios	86
7.3.2.	Vulnerabilidade ambiental nos municípios	87
7.4.	Áreas prioritárias para a conservação	88
7.5.	Áreas de maior atenção	91
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	94
	REFERÊNCIAS	96
	ANEXO 1 – TABELA DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL DOS SOLOS DE CREPANI, ET AL.,(2001)	102
	ANEXO 2 – TABELA DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL DE USO DO SOLO (VEGETAÇÃO) DE CREPANI, ET AL.,(2001)	104
	ANEXO 3 – TABELA DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL DE PLUVIOSIDADE DE CREPANI, ET AL.,(2001)	105
	ANEXO 4 – TABELA DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL DE GEOLOGIA DE CREPANI, ET AL.,(2001)	106

1. INTRODUÇÃO

Localizada no norte baiano, a barragem de Ponto Novo é importante para o abastecimento hídrico de vários municípios do centro norte da Bahia. A região é palco de conflitos pelo uso da água entre a população e a agricultura irrigada (SILVA, 2019) e sofre com a degradação ambiental, como mostra a descrição da Empresa Baiana de Águas e Saneamento S.A. (EMBASA) no relatório de 2015 do sistema de abastecimento de água dos municípios de Ponto Novo, Filadélfia e Caldeirão Grande e das localidades de Baraúnas, Tijuaçu e Quicé (no município de Senhor do Bonfim):

“A água que abastece seu município provém da barragem Ponto Novo, localizado na bacia hidrográfica do rio Itapicuru, que apresenta degradação antrópica com perdas de matar ciliar, porém, não há registro de práticas de garimpo. Ao longo do rio existem vários barramentos e projetos para implantação de pequenos balneários. Dentre os múltiplos usos, a agricultura irrigada é predominante: melancia, tomate, cebola, coentro, alface e o cultivo de flores e banana. Porém, a água desse manancial é de boa qualidade. Através dos parâmetros analisados, não há evidências de que exista contaminação por elementos e/ou substâncias químicas indesejáveis”. (EMBASA, 2015)

Por conta desta situação, a bacia merece ter um olhar cauteloso para as questões ambientais. Os principais interesses se dão na perspectiva apenas do uso da água no Lago da Barragem de Ponto Novo, ou seja, a gestão como um todo da bacia hidrográfica que drena para a barragem muitas vezes é deixada de lado. Outra dificuldade encontrada nessa bacia hidrográfica é a espacialização do grau de vulnerabilidade ambiental, e maior susceptibilidade a possíveis impactos ambientais (ou impactos já existentes) e em quais municípios se localizam esses impactos. Dos municípios que fazem parte da bacia hidrográfica, Ponto Novo que é o município onde a barragem se localiza, é um dos municípios com a menor área dentro da bacia hidrográfica que contribui para a mesma. No próprio lago da Barragem de ponto Novo existe uma divisão entre os municípios de Pindobaçu, Ponto Novo e Filadélfia. A extensão territorial e divisão política traz problemas na gestão da bacia hidrográfica em relação aos impactos ambientais que ela sofre. Assim, este trabalho visa construir mecanismos de identificação de áreas de riscos ambientais de forma espacializada. Para isso, foram construídos mapas de vulnerabilidade natural e ambiental que subsidiou uma discussão a respeito de zoneamentos de áreas de maior risco de perda

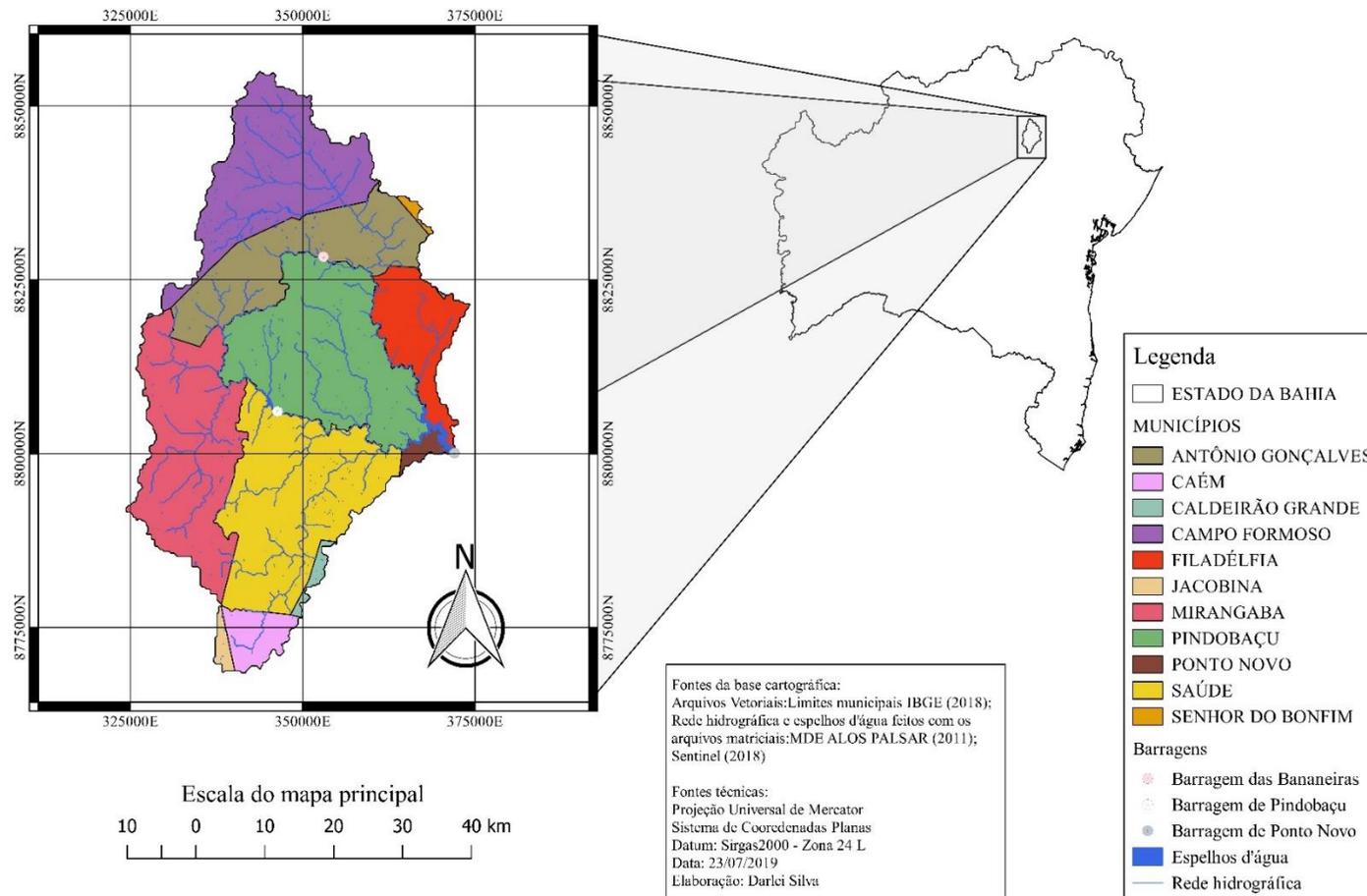
de solo, e ambiental. Os mapas e as suas análises se configuram como uma ferramenta para ajudar a administração pública a localizar os locais de possíveis danos, e assim, tentar encontrar soluções para os mesmos, tornando-se instrumento para a gestão pública e educação ambiental local.

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO DA BARRAGEM DE PONTO NOVO

A barragem de Ponto Novo é atualmente a principal fonte de abastecimento hídrico para sete municípios do Norte baiano. Atualmente atende: Ponto Novo, Filadélfia, Caldeirão Grande, Itiúba, Senhor do Bonfim, Andorinhas e Jaguarari (BAHIA, 2019) (Figura 1). A criação da Barragem de Ponto Novo foi fruto de demanda de agricultores que faziam irrigação, pois eles dependiam das épocas de cheia do rio Itapicuru, algo que não é tão recorrente nessa região semiárida (SILVA, 2019). O lago da barragem é muito importante, porque ele se tornou uma saída para o abastecimento hídrico em uma região onde não chove tanto, e que passa a maior parte do ano seca. Mesmo com essa importância da água do lago da barragem, algo que não é muito mostrado é o papel desses municípios no cuidado e na gestão dessa água que abastece a barragem. A bacia hidrográfica que drena para a Barragem de Ponto se localiza em 11 municípios diferentes, tem grandes áreas com agricultura irrigada e as nascentes também não estão sendo bem cuidadas, e isso acaba incrementando a vulnerabilidade ambiental à erosão provocada pelas ações antrópicas. Por isso, a gestão integrada da bacia hidrográfica é importante, pois como a bacia hidrográfica se localiza em mais de um município não tem como responsabilizar um único pela gestão das águas da bacia hidrográfica. Além disso, todos os municípios que estão dentro da bacia hidrográfica contribuem de certa forma para a água que está no lago da Barragem de Ponto Novo. Na Figura 1 estão representados os municípios com suas respectivas áreas dentro da Bacia que drena para a Barragem de Ponto Novo.

Figura 1 - Mapa político da Bacia que drena para Barragem de Ponto Novo

Mapa político da Bacia que drena para Barragem de Ponto Novo



Fonte: Elaborado pelo autor.

1.2. GESTÃO HÍDRICA PÚBLICA TERRITORIAL NA ÁREA DA BACIA QUE DRENA PARA A BARRAGEM DE PONTO NOVO

A região onde se localiza a Bacia que drena para a Barragem de Ponto Novo tem a gestão da água dividida em três esferas: a gestão da distribuição hídrica, a gestão hídrica e a gestão territorial. Quem realiza o tratamento e distribuição de água é a EMBASA, ela é empresa que realiza a manutenção do sistema de abastecimento de água potável e quem controla a qualidade da água da maioria dos municípios. Pindobaçu, exceção, possui seu próprio serviço municipalizado de tratamento e distribuição de água. A EMBASA, no relatório de 2015 do sistema de abastecimento de água dos municípios de Ponto novo, Filadélfia e Caldeirão Grande e das localidades de Baraúnas, Tijuaçu e Quicé (Senhor do Bonfim) ressalta:

“A Embasa é responsável neste município pela operação e manutenção do sistema de abastecimento de água potável, devendo manter e controlar a qualidade da água produzida e distribuída, e divulgar informações referentes a este controle, promovendo em conjunto com os órgãos ambientais e gestores de recursos hídricos as ações para proteção do manancial de abastecimento. As responsabilidades atribuídas às empresas pela operação de sistemas de abastecimento de água estão dispostas na Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde e nas demais legislações aplicáveis.” (EMBASA, 2015, p. 1)

Na parte da gestão hídrica, quem faz a gestão da Bacia é CBH Itapicuru (Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Itapicuru) e o Instituto Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos INEMA¹, que são os responsáveis por toda discutir e executar as políticas hídricas e ambientais na Bacia do Itapicuru. Na parte da gestão territorial, a administração é feita pelos municípios de forma independente e pelos territórios de identidade a qual pertencem. A área da bacia hidrográfica que drena para a Barragem para Ponto Novo é dividida por onze municípios (Antônio Gonçalves, Caém, Caldeirão Grande, Campo Formoso, Filadélfia, Jacobina, Mirangaba, Pindobaçu, Ponto Novo, Saúde e Senhor do Bonfim) e esses municípios fazem parte de dois territórios de identidade, o TIPNI (Território de Identidade do Piemonte Norte

¹ Autarquia que executa as Políticas Estaduais de Meio Ambiente e de Proteção à Biodiversidade, de Recursos Hídricos, sobre Mudança do Clima e Educação (INEMA, 2018, p.31)

do Itapicuru) e do TIPD. O TIPNI é composto por nove municípios: Andorinha, Antônio Gonçalves, Caldeirão Grande, Campo Formoso, Filadélfia, Jaguarari, Pindobaçu, Ponto Novo e Senhor do Bonfim (SEPLAN, 2019). Nesse território de identidade está localizada a Barragem de Ponto e é nele onde estão a maioria dos municípios abastecidos pela Barragem. O TIPD também é formado por nove municípios: Caém, Jacobina, Miguel Calmon, Mirangaba, Ouroândia, Saúde, Serrolândia, Umburanas e Várzea Nova (SEPLAN, 2019). Nesse território de identidade embora tenha menos municípios abastecidos pela barragem, existem alguns deles que tem nascentes e áreas de rios afluentes que abastecem a barragem. Os dois territórios de identidade são bastante importantes para gestão da bacia, assim é necessária uma ação integrada de intervenção contra os impactos ambientais para que a bacia hidrográfica continue abastecendo de forma satisfatória quanto à demanda para os municípios que necessitam da água da barragem.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse trabalho, buscou-se relacionar três temas diferentes: 1) Visão integrada dos sistemas, bacia hidrográfica e planejamento ambiental; 2) análise ambiental com Sistemas de Informação Geográfica (SIG), e; 3) análise geossistêmica e vulnerabilidade ambiental. Por conta disso, a fundamentação teórica foi dividida nestas três partes.

Na primeira parte, tenta-se introduzir a visão da teoria geral dos sistemas que é base para a teoria geossistêmica, e traz também os conceitos de bacia hidrográfica para demonstrar do porquê esse tipo de unidade da paisagem ser considerado tão importante para o planejamento ambiental. Na segunda parte, é mostrado como os sistemas de informação geográfica (SIG) se tornaram uma técnica importante para estudos espaciais e como ele pode auxiliar nos estudos ambientais para bacias hidrográficas. Enquanto na terceira parte, geossistemas são novamente discutidos, mas no intuito inserir o conceito de vulnerabilidade ambiental e como ela pode ser estudada de forma integrada em uma bacia hidrográfica através dos SIG.

2.1. VISÃO INTEGRADA DOS SISTEMAS: PENSANDO NA BACIA HIDROGRÁFICA

Desenvolvida por Bertalanffy, como citado por Christofolletti (1999), a teoria geral dos sistemas tenta explicar o mundo com uma visão holística dos processos. Nesta, o sistema é um conjunto de elementos que interagem entre si, e que a relação de cada elemento interfere diretamente no sistema como um todo. Por isso é necessário estudar todas as partes do sistema para entender as problemáticas e correlações desse (CHRISTOFOLETTI, 1999). A visão sistêmica de Bertalanffy, embora seja uma visão holística dos processos não é contrária à visão reducionista que foi no passado a visão mais aceita, e ainda é utilizada em diversas áreas (CHRISTOFOLETTI, 1999). A visão reducionista divide os campos e as áreas de estudos, e as especializa como forma de focar em apenas uma determinada ciência ou estudo por vez. Enquanto, a visão sistêmica tenta unir essas diferentes áreas como forma de integrar os conhecimentos e assim trazer uma visão mais ampla de determinado estudo ou ciência (CHRISTOFOLETTI, 1999). Já a análise geossistêmica traz essa visão sistêmica e integra as áreas da geografia física (geomorfologia, hidrografia, vegetação, pedologia, climatologia) com a ecologia em sistemas ambientais (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Os geossistemas constituem uma boa forma de análise ambiental, pois através dos estudos da relação dos elementos que os constitui dá para se ter uma ideia mais ampla do que está induzindo processos em determinada área ou ambiente. Os estudos sobre geossistemas começaram após o fim da segunda guerra mundial na Austrália, no Canadá e na antiga União Soviética, entretanto ainda de forma deficiente por não levar em conta a análise conectada de vários elementos na descrição e de mapeamentos (CHRISTOFOLETTI, 1999). Entre várias perspectivas e visões que discutem geossistema, uma das que mais se destaca é a de Bertrand, autor que discute a paisagem na geografia de forma integrada, diferenciando da visão compartimentada e reducionista que é utilizada em parte da geografia (PISSINATI, 2009). Os geossistemas existem em diferentes escalas de análise que vão desde grandes sistemas (cobertura global), até sistemas menores como pequenas bacias hidrográficas.

Os sistemas ainda podem ser divididos em consideração ao critério funcional. Como Christofolletti (1999) menciona, Forster, Rapoport e Trucco distinguem os sistemas em: isolados e não isolados. Os sistemas isolados são os que não sofrem mais nenhuma perda e nem recebem energia do ambiente que os cerca. Já os sistemas não isolados são os que tem relação com outros sistemas do universo, eles são divididos em fechados e abertos. De uma forma geral, os sistemas não isolados fechados são os que tem intercâmbio de energia, mas não de matéria, enquanto os sistemas não isolados abertos possuem troca tanto de matéria como de energia. A bacia hidrográfica é assim considerada um sistema não isolado aberto, pois nesse tipo de sistema acontece uma troca contínua de matéria e energia entre o sistema da bacia e outros sistemas externos (CHRISTOFOLETTI, 1999). Como exemplo, a água que abastece a bacia vem do sistema atmosférico e a água, bem como sedimentos e nutrientes do exutório abastece o sistema costeiro e oceânico.

Existem diversas definições sobre o que seria bacia hidrográfica. Machado *et al.* (2012) aborda diferentes definições que vão desde conceitos mais simples até mais complexos.

“Também chamada bacia fluvial ou bacia de drenagem, uma bacia hidrográfica é uma região hidrológica que pode ser definida como “uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial” (COELHO NETTO, 2007, p. 97). Sua conceituação varia desde a simplista definição de uma área drenada por um rio principal e seus afluentes até conceituações mais precisas e detalhadas, segundo uma abordagem sistêmica. Rodrigues e Adami (2005, p. 147-8), por exemplo, discutem mais profundamente seu conceito, definindo-o como um sistema que compreende um volume de materiais, predominantemente sólidos e líquidos, próximo à superfície terrestre, delimitado interna e externamente por todos os processos que, a partir do fornecimento de água pela atmosfera, interferem no fluxo de matéria e de energia de um rio ou de uma rede de canais fluviais.” (MACHADO *et al.*, 2012, p. 40)

Machado *et al.* (2012) explica que a bacia hidrográfica se tornou a unidade físico-territorial básica para uma série de intervenções, principalmente as que tem relação a gestão hídrica em países, como: França, Espanha, Países Baixos e Reino Unido, inclusive o Brasil. Ela é importante para o planejamento ambiental pois é a menor unidade da paisagem que consegue agregar todos os elementos que

interferem na qualidade e disponibilidade de água (Moldan & Cerny, 1994, apud Machado, 2002). Por conta disso, consegue-se ter uma análise mais integrada e ampla dos processos que acontecem nesse tipo de unidade da paisagem (Machado, 2002). Além disso, é possível estipular de forma mais completa: modelos, cenários e relações dos impactos da ação antrópica nesse ambiente.

2.1.1. Legislação e planejamento ambiental pertinente a recursos hídricos e bacia hidrográfica

A legislação brasileira também considera a bacia hidrográfica como de importância para o gerenciamento ambiental. A bacia hidrográfica é citada na Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que cria a Política Nacional de Recursos Hídricos e o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Em seu Artigo 1º define:

“Art. 1º A Política Nacional de Recursos Hídricos baseia-se nos seguintes fundamentos:

I - a água é um bem de domínio público;

II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;

III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;

IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;

V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.” (BRASIL, 2019, p. 1, grifo do autor)

No inciso quinto do artigo 1º fica clara a importância dada pela Política Nacional de Recursos Hídricos à bacia hidrográfica, a ponto de ser um dos fundamentos da lei. Vale ressaltar que o SINGREH tem sua integração realizada pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), como ressalta Tucci *et al.* (2006):

“Conselho Nacional de Recursos Hídricos, a Agência Nacional das Águas, os Conselhos Estaduais e do DF, os comitês de bacia hidrográfica, os órgãos

dos poderes federal, estaduais, do DF e municipais que tenham gestão de recursos hídricos e as agências de água”. (TUCCI *et al.*, 2006. p.142)

Dentro dos objetivos desta lei no artigo 2º ainda fica clara a preocupação do governo com a água:

“Art. 2º São objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos:

- I - assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;
- II - a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;
- III - a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.
- IV - incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais.” (BRASIL, p. 1, 2019)

No artigo 2º é importante pontuar que é exposta uma maneira de melhor gerir os recursos naturais para possibilitar a mitigação dos problemas ambientais, tanto causado por ações antrópicas como naturais. No artigo 3º desta lei ainda são apresentadas as diretrizes gerais de como deve ser implementada o SINGREH.

Art. 3º Constituem diretrizes gerais de ação para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos:

- I - a gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade;
- II - a adequação da gestão de recursos hídricos às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das diversas regiões do País;
- III - a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental;
- IV - a articulação do planejamento de recursos hídricos com o dos setores usuários e com os planejamentos regional, estadual e nacional;
- V - a articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo;
- VI - a integração da gestão das bacias hidrográficas com a dos sistemas estuarinos e zonas costeiras. (BRASIL, 2019, p. 2, grifo do autor).

Através do artigo 3º é interessante notar que a palavra gestão vem em cinco dos seis incisos e no único inciso em que ela não é citada é falado em planejamento, e em todas é falado na questão ambiental. Sendo assim, nota-se que a própria lei define o planejamento e gestão ambiental integrada como a forma para o cuidado dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas. Cuidado este, que é de maior importância no semiárido brasileiro, onde a escassez de água é constante.

É importante considerar que a legislação não faz distinção no tamanho das bacias hidrográficas. Geralmente, as bacias que interferem no uso de água por parte de reservatórios não são pequenas e têm mais de 1000 km² de área, valor esse que é caracterizado como o valor de uma bacia de grande porte para a análise espacial (Christofoletti, 1999). Quanto maior a bacia, mais difícil é a análise da totalidade de seu território, principalmente de uma forma holística e integrada.

2.2. ANÁLISE AMBIENTAL E SIG

Atualmente, quando se fala em planejamento público territorial se pensa em análise espacial, e assim nos Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Além de trazer contribuições para o auxílio em tarefas quando existe um completo quadro de informações (LANG, S. BLASCHKE, T. 2009, apud SANTOS, 2019). Os SIG proporcionam a quem vai analisar um determinado fenômeno espacial ambiental uma visão estratégica e ampla que permite análise de diferentes informações georreferenciadas de uma forma dinâmica. Assim os SIG podem estabelecer maneiras de estipular, localizar, qualificar e quantificar um determinado dano ambiental. Entretanto, o uso dessa ferramenta ainda é bem recente. Como Christofoletti (1999) aborda, o uso do termo “sistema de informação geográfica” começou a ser utilizado por volta de metade dos anos 60, quando na época, no Canadá era usado para designar o uso de um computador principal e equipamentos periféricos para o manuseio de informações que eram coletadas para o levantamento do uso da terra Christofoletti (1999). Quase que no mesmo período alguns pesquisadores dos Estados Unidos encontraram um problema ao acessar diferentes tipos de dados para modelos de transporte em grande escala, e viram no SIG um sistema capaz de suprir suas necessidades associando o processamento espacial à um banco de dados. Dessa forma, os pesquisadores acabaram unindo informações sobre a distribuição da população com informações espacialmente distribuídas, como dados sobre emprego e rotas de transporte. Existem várias definições de SIG, mas como Christofoletti (1999) destaca:

Entre as inúmeras definições apresentadas, a proposta por CALKINS e TOMLINSON (1997) se destaca expressando que “um sistema de informação geográfica é um conjunto integrado de programas (softwares)

especificamente elaborados com dados geográficos, executando espectro abrangente de tarefas e manuseio dos dados. Essas tarefas incluem a entrada, o armazenamento, a recuperação e os produtos resultantes do manejo de dados, em adição à ampla variedade processos descritivos e analíticos”. Em obra recente, BURROUGHT e McDONNEL (1998) definem SIG como “um poderoso conjunto de instrumentos para coletar, armazenar e recuperar informações, transformando e organizando os dados do mundo real para um conjunto particular de objetos. (CHRISTOFOLETTI,1999, p.29)

Christofoletti (1999) coloca que o uso das três palavras chaves nos termos: geográfica, georreferenciada e sistema, devem ser ponderadas. O termo geográfica se refere à qualidade em que as informações estão espacialmente distribuídas. O termo georreferenciadas se refere as unidades espaciais de mensuração (ponto, área e volume) que tem que ser localizadas. E por último o termo sistema que se refere aos conjuntos de elementos que interagem entre si e que formam uma unidade complexa.

Outro fator muito interessante do SIG é o seu potencial em estudos ambientais. Em razão dos sistemas conseguirem elaborar modelos de distribuição espacial e localização, os SIG são utilizados em muitas áreas ambientais, um exemplo é a modelagem ambiental de agrotóxicos (SPADOTTO *et al.*, 2010). Christofoletti (1999) aborda também a importância do uso dos SIG para estudos e modelagens ambientais, o autor coloca que a espacialidade é algo inerente aos sistemas que analisam o meio ambiente. A análise espacial com SIG começou a ser feita no início dos anos 60 com foco no estudo de padrões espaciais. Com o passar do tempo as pesquisas começaram também a analisar os processos e suas relações espaciais. A análise espacial é vista por FISCHER e SCHOLTER e UNWIN (apud Christofoletti, 1999) como uma composição de duas principais abordagens: análise estatística dos dados espaciais e a modelagem espacial (Christofoletti, 1999).

Os SIG também podem ser representados de forma gráfica, em escala reduzida, por mapas. A apresentação e exibição dos resultados, são na maioria das vezes a culminação do trabalho de vários projetos em SIG. Isso acontece pela sua maneira didática de comunicar e evidenciar os fenômenos estudados e seu desfecho no SIG (LONGLY, P.A *et al.*, 2013 apud SANTOS, 2019).

2.3. ANÁLISE GEOSISTÊMICA DA VULNERABILIDADE AMBIENTAL

No meio ambiental é cada vez mais necessário se ter uma avaliação qualitativa e quantitativa da sustentabilidade², pois o planeta sofre cada vez com os danos ambientais causados por ações antrópicas (AQUINO; PALETTA; ALMEIDA, 2017., 2017). Por conta disso, é cada vez mais discutido no meio acadêmico formas de mitigar os danos ambientais ocasionados pelo ser humano, como por exemplo o assoreamento de rios e até conflitos em relações socioeconômicas com o uso da água. Estes conflitos expõe a vulnerabilidade do meio ambiente às demandas sociais e econômicas de uso de recursos, como a água. Assim, a análise de possíveis impactos e os riscos de estes acontecerem (susceptibilidade), é essencialmente uma análise de vulnerabilidade.

O conceito de vulnerabilidade é discutido por vários autores, Aquino, Paletta e Almeida (2017), por exemplo define:

“O conceito de vulnerabilidade se aplica para entidades físicas (pessoas, ecossistemas) e também para conceitos abstratos (sistemas sociais, sistemas econômicos, países). Assim sendo, esse termo apresenta um caráter multifacetado e pode ser aplicado a diversas situações e diferentes sistemas, como por exemplo, aos bens materiais que podem estar susceptíveis a serem vulneráveis a algo ou alguém, ou ainda, programas computacionais que são susceptíveis a vírus, ou seres humanos a microrganismos patogênicos, sistemas financeiros às oscilações do mercado.” (AQUINO; PALETTA; ALMEIDA. 2017, p.13)

Como Aquino, Paletta e Almeida (2017) explica, o conceito de vulnerabilidade tem um caráter bem amplo e envolve diversa áreas, desde áreas ambientais, sociais, econômicas e até computacionais. Entretanto, geralmente quando se fala em vulnerabilidade ela é sempre vista de forma negativa, e como Aquino, Paletta e Almeida (2017) coloca, ela é retratada em três fatores: “Exposição ao risco; alterações sociais e/ou ambientais e incapacidade de adaptação” (AQUINO; PALETTA; ALMEIDA. 2017, p.13). Esses fatores na perspectiva ambiental são importantes de serem qualificados para identificar o grau de dano causado ou potencialmente a ser

² Sustentabilidade é o conjunto de ações desenvolvidas pensando na melhor forma da utilização dos recursos e com soluções que não agridam o meio ambiente, para que esses recursos possam ainda existir para as gerações futuras e possam ser utilizados por elas.

causado em determinada área. Esse grau de suscetibilidade ou incapacidade de lidar com os efeitos ambientais ocasionados pela interação externa é chamado de vulnerabilidade ambiental (AQUINO; PALETTA; ALMEIDA. 2017).

Vulnerabilidade ambiental é definido por Aquino, Paletta e Almeida (2017), como:

“o grau em que um sistema natural é suscetível ou incapaz de lidar com os efeitos das interações externas. Pode ser decorrente de características ambientais naturais ou de pressão causada por atividade antrópica; ou ainda de sistemas frágeis de baixa resiliência, isto é, a capacidade concreta do meio ambiente em retornar ao estado natural de excelência, superando uma situação crítica.” (AQUINO; PALETTA; ALMEIDA. 2017. p.15)

Como Aquino, Paletta e Almeida (2017) coloca, a vulnerabilidade ambiental pode ser medida como a incapacidade de um determinado ambiente de ter resiliência, ou seja, de se recuperar por causa de determinada ação ou dano causado nele. A vulnerabilidade está diretamente ligada a perturbações que acontecem em determinado geossistema e na capacidade e resiliência do mesmo, por isso para entender vulnerabilidade em um território como o de uma bacia Hidrográfica, é necessário entender a relação entre os elementos naturais e a interação entre eles e o próprio sistema.

Já Tagliani (2003) coloca vulnerabilidade ambiental como sendo o maior ou menor susceptibilidade de um ambiente a um impacto potencial, no qual a sua geração é provocada através de uso antrópico qualquer, em que sua avaliação é feita seguindo três critérios:

a) Fragilidade estrutural intrínseca – condicionada por características inerentes ao substrato físico e que descrevem seus materiais, formas e processos, sintetizando suas relações. Os fatores de fragilidade estrutural analisados foram a declividade e a capacidade de uso dos solos.

b) Sensibilidade – condicionada pela proximidade de ecossistemas sensíveis, os quais sustentam e mantêm inúmeras funções ambientais (Groot, 1994). Os fatores analisados foram a proximidade de recursos hídricos e a proximidade de comunidades vegetais sob proteção legal.

c) Grau de maturidade dos ecossistemas – condicionada pelo tempo de evolução, uma das características que determinam a fragilidade relativa dos ecossistemas frente a perturbações antrópicas.”

(TAGLIANI, 2003, p. 1659)

Esses critérios colocados por Tagliani são importantes e mostram que na visão do autor a vulnerabilidade ambiental é complexa e condicionada a uma série de fatores.

Para Grigio (2003 apud Fushimi, 2012) vulnerabilidade natural abrange os aspectos naturais, enquanto vulnerabilidade ambiental são esses aspectos naturais incrementados pela ação da sociedade.

Dessa forma, a vulnerabilidade ambiental pode ser considerada como o grau de susceptibilidade que um determinado ambiente tem de sofrer um determinado impacto ambiental em somatória tanto com a vulnerabilidade ligada aos aspectos naturais como ligada a vulnerabilidade ocasionada pela ação antrópica.

2.3.1. Relação geossistêmica e vulnerabilidade

Vários autores tentaram entender como a relação geossistêmica se dava no meio ambiente, um desses autores foi o geomorfologista francês Jean Tricart (1997). Tricart (1997) em sua abordagem, via a ecologia como a ciência que tinha por objetivo estudar as relações mútuas entre os seres vivos e com o meio ambiente (Tricart, 1977). Ele definiu a ecodinâmica como o estudo da dinâmica dos ecótopos³. Essa dinâmica dos ecossistemas são estreitamente relacionadas entre si, e sua classificação se dava em meios estáveis, meios intergrades e os meios fortemente instáveis. Nos meios estáveis, as mudanças geomorfológicas e do ecossistema são lentas. Os meios intergrades, é a etapa de transição do meio estável para o instável. No meio instável, é quando a morfogênese é predominante, ou seja, a transformação do solo ocorre de forma mais intensa (Tricart, 1977).

No Brasil existem vários autores que discutem o estudo da relação geossistêmica através da análise ambiental como forma de trazer ações mitigadoras a potenciais impactos ambientais. Um deles é Christofolletti (1999), que analisa os benefícios da modelagem ambiental através de uma visão integrada e geossistêmica.

³ “Ecótopo é uma unidade de paisagem de característica homogênea, espacialmente bem definida e internamente coerente com respeito às relações entre aspectos físicos e bióticos (Schmithusen, 1959: 146).” (Ministério do Meio Ambiente. 2006, p. 12)

Entretanto ele trouxe essa visão em meados do século XX quando ainda não se tinha o auxílio dos SIG como se tem nos dias hoje. Atualmente há vários outros autores discutindo o tema, dois dos deles são Sueli Thomaziello (2007) e Crepani *et al.* (2001).

Thomaziello (2007) coloca o planejamento ambiental como algo importante para prevenir os desastres naturais no Brasil, já que muitos desastres estão associados ao uso do solo feito de forma inadequada. A autora ainda coloca o clima, o relevo, o solo e a cobertura vegetal natural ou a existente pelo uso do solo como fatores determinantes no grau de erosão. Dessa forma, a variação desses fatores condicionantes e a forma como eles interagem entre si é o que pode determinar a vulnerabilidade ambiental de um determinado local.

Crepani *et al.* (2001), assim como Christofolletti, implementa em seus trabalhos acadêmicos a visão geossistêmica como um sistema vivo com elementos que interagem. O autor ainda coloca a necessidade de se ter uma visão holística para entender os processos que ocorrem nesse sistema, e para se ter essa visão ampla é preciso compreender o papel de cada elemento no âmbito da geografia física e a relação ecológica.

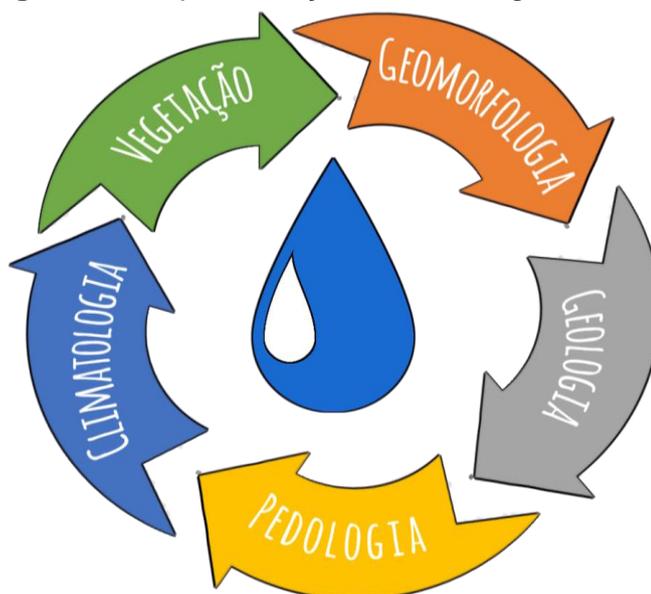
Crepani *et al.* (2001) define um modelo de vulnerabilidade com elementos da geografia física (pedologia, geomorfologia, geologia, vegetação e pluviosidade) e com a relação ecossistêmica de que cada elemento tem com seu papel fundamental no equilíbrio desse geossistema (Figura 1) A mudança em um desses elementos acarreta a mudança de outros elementos do sistema, fazendo um efeito em cadeia (“efeito dominó”). Assim, dependendo da transformação que ocorrerá no sistema, poderão ocorrer problemas ambientais, como por exemplo: a retirada da vegetação, acarreta a erosão de encostas que pode gerar o assoreamento de rios e diminuir o fluxo de água da rede de drenagem, impedindo a água de chegar em determinado reservatório. Crepani *et al.* (2001) em suas obras chega a propor uma equação e definir até valores para medir o grau de vulnerabilidade ambiental, de acordo com o grau de susceptibilidade do solo e a relação da pedogênese, equilíbrio e morfogênese.

Trazendo essa análise para a bacia hidrográfica, o estudo proposto por Crepani *et al.* (2001) essencialmente geossistêmico, é pertinente. Como já foi discutido, a bacia hidrográfica se constitui em um geossistema interessante para estudos por ser a menor unidade da paisagem que integra sistema. Com a importância ambiental, social e econômica da água, é necessário ter um cuidado especial com o geossistema Bacia,

de ter uma boa noção de como anda o grau de vulnerabilidade ambiental na bacia hidrográfica. Caso ocorram problemas, como o do assoreamento de rios, estes podem interferir diretamente no ecossistema e no abastecimento hídrico de reservatórios, que irão impactar a sociedade como um todo.

Assim, a associação da equação de vulnerabilidade ambiental feita por Crepani *et al.* (2001) feita em SIG se torna pertinente e extremamente importante para entendimento da complexidade do sistema da bacia Hidrográfica e para sua boa gestão ambiental. Uma vez que esta associação pode dinamizar o mapeamento das vulnerabilidades ambientais, sendo possível identificar os pontos onde podem ocorrer os impactos. Dessa forma, como discutido no exemplo do impacto da perda de vegetação no assoreamento dos rios, auxiliando na preservação dos geossistemas e deixando as áreas da rede de drenagem sem danos para que possam drenar até as barragens e reservatórios. Na Figura 2 está uma ilustração didática de como os diferentes fatores ambientais se relacionam formando um geossistema onde a interferência de cada fator interfere diretamente na hidrologia.

Figura 2 - Representação cíclica do geossistema



Fonte: Elaborado pelo autor.

3. JUSTIFICATIVA

A região onde se localiza a Bacia Hidrográfica que drena para a Barragem de Ponto Novo pode em muito se beneficiar de análise espacial ambiental integrada para uma boa e também integrada gestão ambiental da Bacia. Embora a barragem de Ponto Novo esteja localizada no município que leva o mesmo nome, as nascentes e os rios que drenam para ela e estão localizadas em outros municípios e territórios. A gestão política e ambiental municipalizada limita a perspectiva de análise do contexto da Bacia. Assim, a análise integrada relacionada ao meio ambiente, e o mapeamento ambiental de vulnerabilidades se torna importante, por trazer uma visão mais clara dos fenômenos espaciais, além de mostrar quais são as áreas onde poderão ocorrer impactos ambientais.

4. OBJETIVO GERAL

Demonstrar as áreas de vulnerabilidade ambiental que se apresentam nos diferentes municípios e territórios da Bacia que drena para a Barragem de Ponto Novo através de uma análise espacial ambiental integrada, criando elementos gráficos e analíticos para gestão ambiental integrada com foco na água.

5. OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Delimitar a área da bacia hidrográfica que drena para a Barragem de Ponto Novo, evidenciando as divisões político administrativas da Bacia;
- Realizar os mapeamentos de base para a análise integrada e mapeamento de vulnerabilidade natural e vulnerabilidade ambiental: uso do solo, geomorfologia (declividade) declividade, rede de drenagem, pedológico, clima (pluviosidade), de vegetação e geológico, necessários de acordo com a metodologia proposta;
- Construir o mapa de vulnerabilidade natural e vulnerabilidade ambiental;
- Determinar as áreas prioritárias para a conservação e os locais críticos onde se deve ter maior atenção e cuidado dentro da Bacia;
- Relatar os resultados e preparar material de divulgação.

6. MATERIAIS E MÉTODOS

6.1. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo considerada é bacia hidrográfica que drena para a Barragem de Ponto Novo, ela tem aproximadamente 2.427,887 km² ela está localizada nos municípios de Senhor do Bonfim, Campo Formoso, Caém, Antônio Gonçalves, Pindobaçu, Ponto Novo Saúde, Jacobina e Filadélfia e Ponto Novo, como representada na Figura 1.

Tabela 1 - Áreas dos municípios dentro da Área de estudo

MUNICÍPIO	ÁREA km ² NA BACIA [2018]	PERCENTUAL DE ÁREA NA BACIA [2018]
Antônio Gonçalves	317,205	13,1
Caém	66,676	2,7
Caldeirão Grande	14,886	0,6
Campo Formoso	389,272	16,0
Filadélfia	172,391	7,1
Jacobina	14,886	0,6
Mirangaba	436,74	18,0
Pindobaçu	495,712	20,4
Ponto Novo	21,800	0,9
Saúde	491,078	20,5
Senhor do Bonfim	7,241	0,3

Fonte: IBGE (2018), elaborado pelo autor.

Na Tabela 1 acima, nota-se que o município com maior área dentro da área de estudo é Pindobaçu, enquanto Senhor do Bonfim é o menos representado. Ponto Novo, município que dá nome a barragem principal da área de estudo representa menos de 1 % do total da área que drena para a Barragem.

Em termos populacionais, Senhor do Bonfim é o município que tem a maior população com 78.588 habitantes (IBGE, 2018) e é quase totalmente abastecido pela Barragem de Ponto Novo. Caldeirão Grande tem a menor população, e é totalmente abastecido pela Barragem (Tabela 2). Já em relação ao Produto Interno Bruto (PIB), o município que arrecada mais é Jacobina com grande atividade mineral, parcialmente abastecida pela Barragem de Pindobaçu, que é parte da Bacia de Ponto Novo.

Tabela 2 - Informações dos municípios da Área de estudo

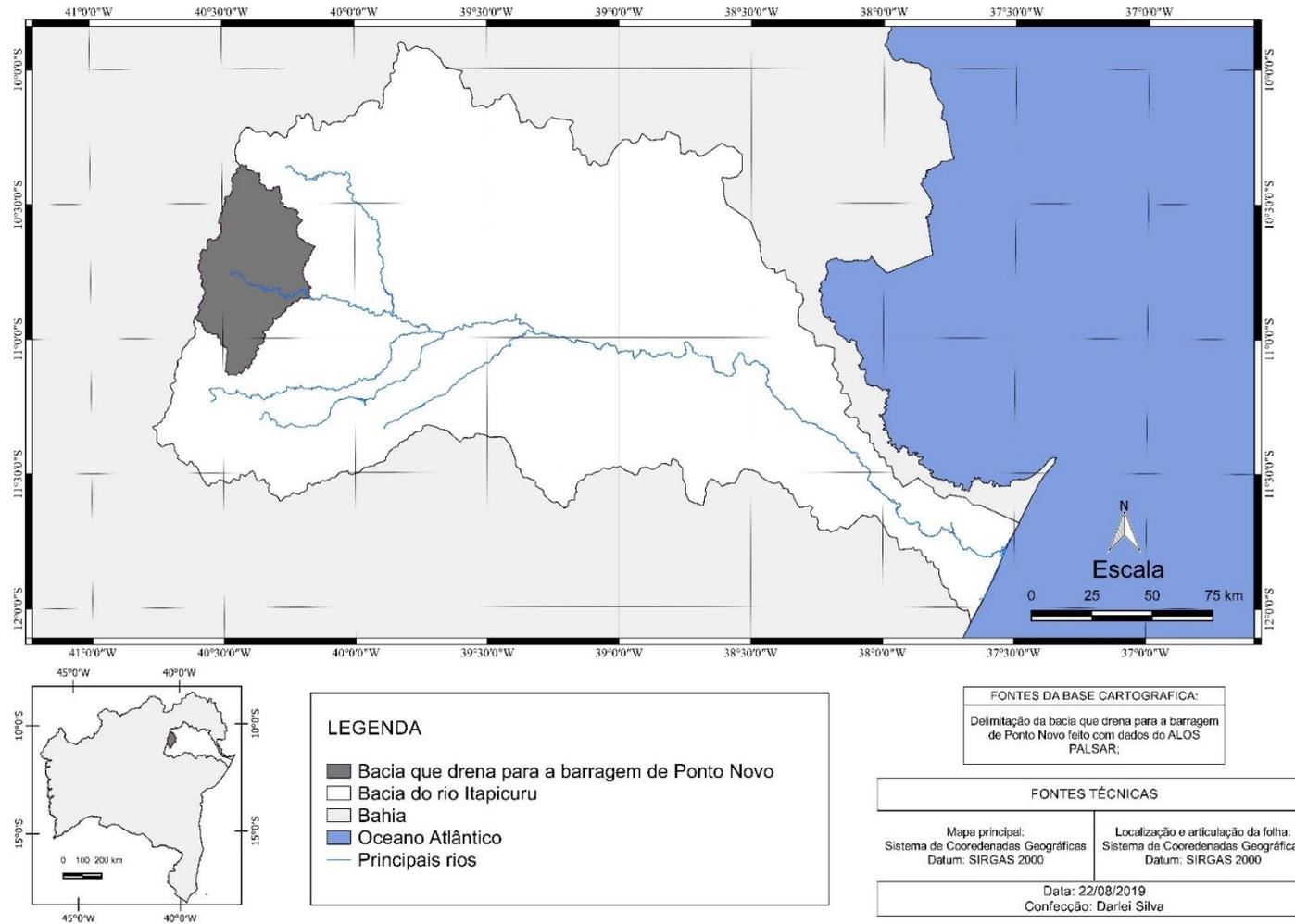
Município	População estimada [2018]	Densidade demográfica hab/km ² [2010]	PIB per capita R\$ [2016]	IDHM [2010]
Antônio Gonçalves	11.715	35,09	5299,76	0,60
Caém	9.372	18,91	8582,92	0,55
Caldeirão Grande	1.326	27,46	7512,41	0,57
Campo Formoso	70.912	9,18	9941,14	0,59
Filadélfia	1.641	29,36	6827,77	0,57
Jacobina	80.394	33,6	15208,07	0,65
Mirangaba	18.195	9,59	6094,36	0,54
Pindobaçu	20.204	40,54	5770,02	0,58
Ponto Novo	15.012	31,65	7000,47	0,58
Saúde	12.883	23,49	6210,88	0,55
Senhor do Bonfim	78.588	89,93	9854,55	0,67

Fonte: IBGE (2018), elaborado pelo autor.

6.1.1. Hidrografia da Área de estudo

A área de estudo é uma sub-bacia da bacia do Rio Itapicuru localizada no extremo oeste desta bacia, em sua parte mais alta (Figura 3). A bacia do Rio Itapicuru é constituída de 55 municípios em uma área é de 38.664km²; isso é o equivalente a 6,60% do estado. A população da Bacia tem 1,3 milhões, que equivale a 7,57% da população do Estado (CBH Itapicuru, INEMA 2019). Na Figura 3 está a localização da bacia que drena para a barragem de Ponto Novo (área de estudo) em relação a bacia do Rio Itapicuru. Nela se nota os principais rios, sendo que deles o Rio Itapicuru-Açu é o rio que para qual a bacia que drena para a Barragem de Ponto Novo drena, sendo o principal rio da Área de estudo, mas que não está completamente presente na Área de estudo, porque a área de estudo é uma sub-bacia da bacia deste rio.

Figura 3 - Mapa de localização
MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NA BACIA DO RIO ITAPICURU



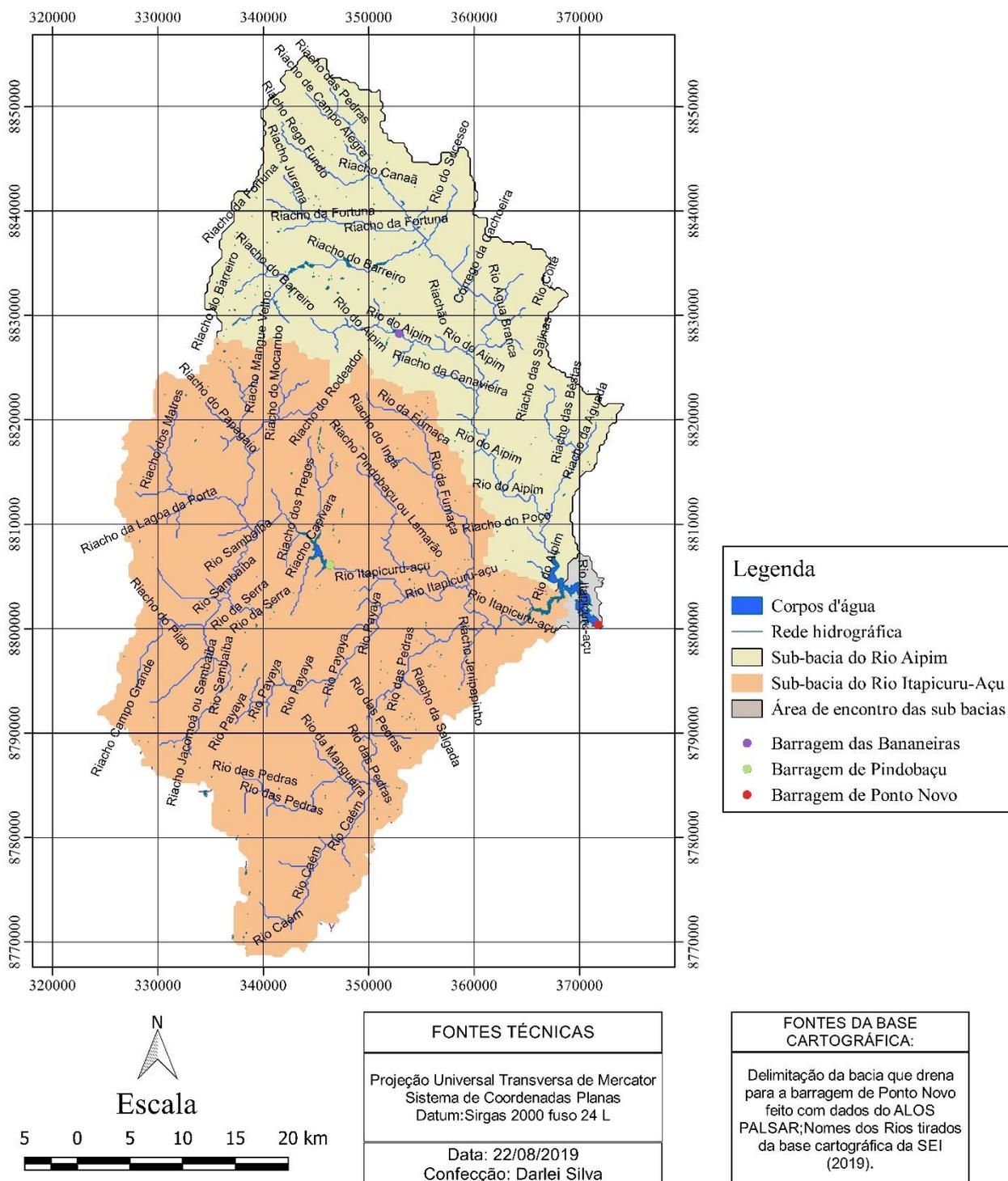
Fonte: Elaborado pelo autor.

A Bacia do Rio Itapicuru se subdivide em dois principais eixos. A área de estudo, a bacia hidrográfica que drena para a Barragem de Ponto Novo, representa grande parte da principal sub-bacia do Rio Itapicuru, a do Rio Itapicuru Açú.

Dentro da Área de estudo se encontram os rios: Córrego Lava-Pés, Córrego da Cachoeira, Córrego do Pinga, Riacho Barroco, Riacho Cacimba Suja, Riacho Campo Grande, Riacho Canaã, Riacho Capivara, Riacho Curral de Fora, Riacho Gatinha, Riacho Jacomoá ou Sambaíba, Riacho Jenipapinho, Riacho Jurema, Riacho Lagoa Grande, Riacho Lagoa da Roça, Riacho Mandacaru, Riacho Mangue Velho, Riacho Mariquita, Riacho Olhos d' Água, Riacho Pajurá, Riacho Pindobaçu ou Lamarão, Riacho Rego Fundo, Riacho Santo Antônio, Riacho Várzea da Serra, Riacho da Aguada, Riacho da Barreira, Riacho da Canabrava, Riacho da Canavieira, Riacho da Fortuna, Riacho da Lagoa da Porta, Riacho da Lagoinha, Riacho da Madalena, Riacho da Maria Joana, Riacho da Mata, Riacho da Oficina, Riacho da Salgada, Riacho da Tara, Riacho da Traíra, Riacho das Bêstas, Riacho das Laranjeiras, Riacho das Pedras, Riacho das Salinas, Riacho das Tralhas, Riacho de Campo Alegre, Riacho do Adão, Riacho do Barreiro, Riacho do Boqueirão, Riacho do Brejinho, Riacho do Canto, Riacho do Ingá, Riacho do Macaco, Riacho do Mocambo, Riacho do Papagaio, Riacho do Pilão, Riacho do Poço, Riacho do Rodeador, Riacho dos Matres, Riacho dos Pregos, Riacho dos Veados, Riachão, Rio Caém, Rio Coité, Rio Itapicuru-açu, Rio Payaya, Rio Sambaíba, Rio da Fumaça, Rio da Mangueira, Rio da Serra, Rio das Pedras, Rio do Aipim, Rio do Sucesso e Rio Água Branca (SEI, 2018 apud UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, 2019). Todos esses rios são representados na Figura 4.

Figura 4 - Mapa da rede hidrográfica da Área de estudo

MAPA DA REDE HIDROGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO



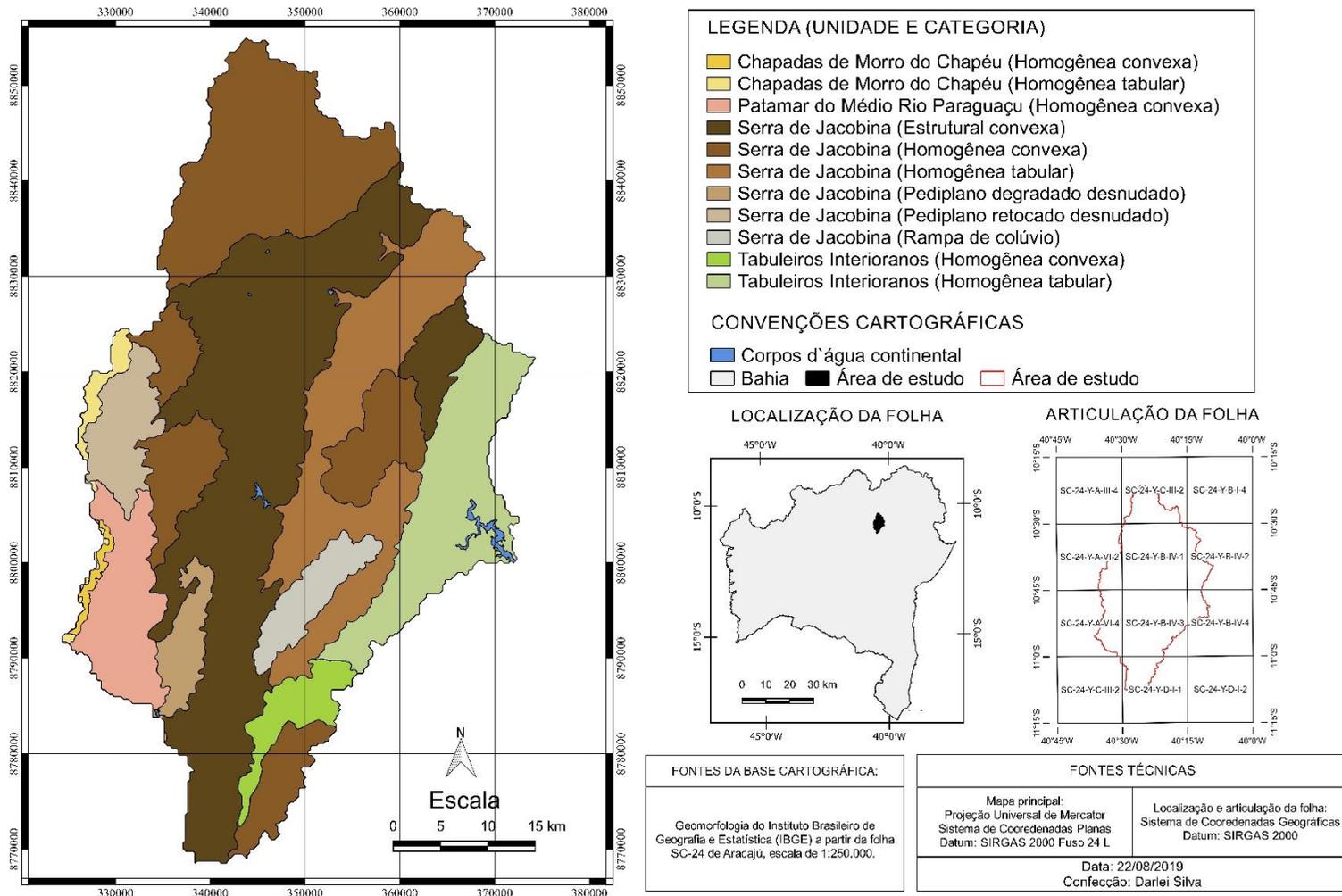
Fonte: Elaborado pelo autor.

6.1.2. Geomorfologia da Área de estudo

Outro fator bem interessante na Área de estudo é a geomorfologia da região. Na área de estudo se encontra a unidade geomorfológica da Serra de Jacobina que tem características diferentes das demais regiões, como por exemplo a vegetação que além de caatinga tem até Cerrado e resquícios de Mata Atlântica. Na unidade geomorfológica da Serra de Jacobina que tem categoria estrutural convexa (parte oeste) se encontra a maioria das nascentes da Área de estudo. Enquanto nos Tabuleiros Interioranos vemos um relevo bem plano com vegetação mais arbustiva e predominância de Caatinga. Por isso, é uma região que merece um destaque especial nesse trabalho. Na Figura 5 está o mapa geomorfológico da Área de estudo e lá pode ser visto a parte de maior altitude da unidade geomorfológica da Serra de Jacobina. Na Figura 5, nota-se as unidades geomorfológicas com as categorias. No total, são 5 unidades geomorfológicas diferentes: Chapadas de Morro do Chapéu, Patamar do Médio Rio Paraguaçu, Serra de Jacobina e Tabuleiros Interioranos. Elas se subdividem nas categorias geomorfológicas apresentadas na Figura 5.

Figura 5 - Mapa geomorfológico da Área de estudo

MAPA GEOMORFOLÓGICO DA BACIA QUE DRENA PARA BARRAGEM DE PONTO NOVO - BA

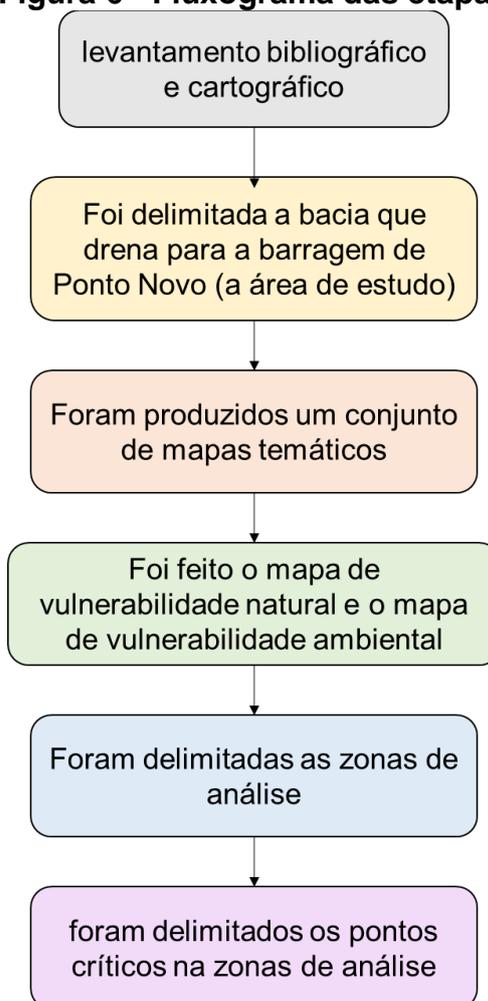


Fonte: Elaborado pelo autor.

6.2. ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DOS TRABALHOS

Este trabalho levou em conta as técnicas de sobreposição de mapas através dos sistemas de informação geográfica (SIG) para a construção de um mapa de vulnerabilidade natural e ambiental. Para isso inicialmente foi realizado: 1) levantamento bibliográfico e cartográfico; 2) Foi delimitada a bacia que drena para a barragem de Ponto Novo (a área de estudo); 3) Foram produzidos um conjunto de mapas temáticos que serviram tanto para ajudar na análise, como na construção do mapa de vulnerabilidade natural e ambiental; 4) Foi feito o mapa de vulnerabilidade natural e o mapa de vulnerabilidade ambiental; 5) Foram delimitadas as zonas de análise; e foram delimitados os pontos críticos na zonas de análise. As etapas citadas acima são mostradas na Figura 6.

Figura 6 - Fluxograma das etapas



Fonte: Elaborado pelo autor.

6.2.1. Levantamento bibliográfico

Essa etapa serviu para a conceituação teórica inicial e o entendimento e das normas e técnicas de zoneamento ambiental, gestão e recursos hídricos, e para análise espacial e de vulnerabilidade ambiental.

6.2.2. Levantamento cartográfico

Nesta etapa foram coletadas informações e bases cartográficas para a construção dos diferentes mapeamentos necessários. As bases cartográficas utilizadas estão na Tabela 3.

Tabela 3 - Bases cartográficas

Bases cartográficas	Fontes dos dados	ANO	Formato
MDE ALOS PALSAR	ALASKA NASA	2011	Vetorial
Político	IBGE	2018	Vetorial
Sentinel	USGS	2019	Matricial
Sentinel	USGS	2019	Matricial
Sentinel	USGS	2018	Matricial
Sentinel	ESA	2018	Matricial
Pedologia	IBGE / RADAM Brasil	2017	Vetorial
Pluviosidade	CPRM	1977 a 2006	Vetorial
Geologia	CPRM	sem informação	Vetorial
Uso do solo	MapBiomas	2017	Matricial
Traçado urbano e vias	Open Streets Maps	2019	Vetorial
Rede hidrográfica	SEI	2018	Vetorial
Bacia do rio Itapicuru	CBH Itapicuru	2019	Vetorial
Geomorfologia	IBGE / RADAM Brasil	2017	Vetorial
Político	IBGE	2018	Vetorial

Elaborado pelo autor.

Além das bases cartográficas citadas na tabela acima ainda foram utilizados mapeamentos já prontos. Eles estão na Tabela 4 abaixo.

Tabela 4 - Mapas prontos

Mapas	Fontes dos dados	ANO	Formato
Geológico	CPRM	sem informação	PDF

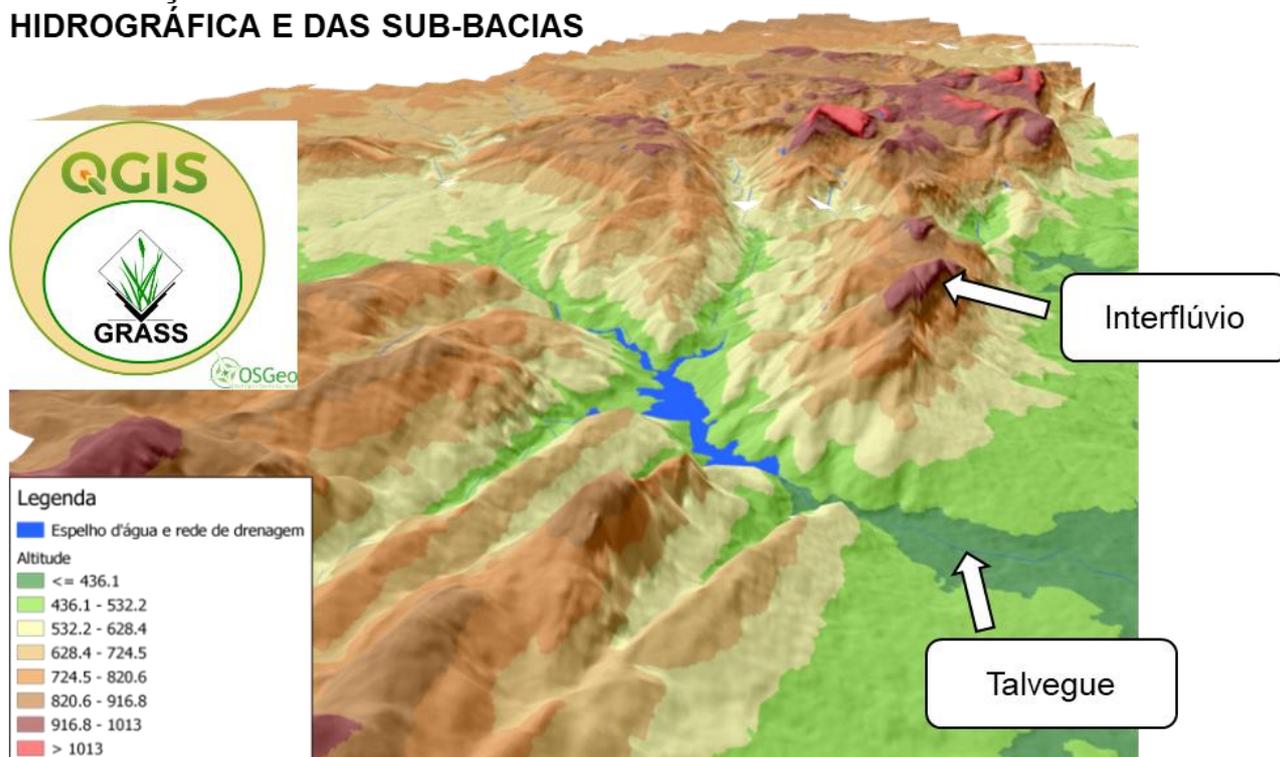
Elaborado pelo autor.

6.2.3. Delimitação da bacia hidrográfica e das sub-bacias

Nesta etapa foram definidas a bacia maior que drena para a barragem de Ponto Novo (área de estudo) e sub-bacias para subdivisão e zoneamento através do Modelo Digital de Elevação (MDE) do MDE ALOS PALSAR de 12,5 metros de resolução espacial da data 14/01/2011 e 12/02/2011 (<https://vertex.daac.asf.alaska.edu/#>) (obtidos no levantamento cartográfico) e de softwares de SIG (QGIS e GRASS GIS). O software QGIS com o complemento do GRASS GIS realizou a delimitação da bacia pegando o ponto mais alto entre as bordas chamado de interflúvio, enquanto o para a delimitação da rede de drenagem o software pegava o ponto mais baixo entre esse interflúvio, denominado talvegue. Na Figura 7 mostra uma parte da Área de estudo, na Barragem de Pindobaçu com a região onde se localiza o talvegue e o interflúvio.

Figura 7 - Modelo 3D na Área de estudo

DELIMITAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA E DAS SUB-BACIAS



Fonte: Elaborado pelo autor.

6.2.4. Produção dos mapas de base

6.2.4.1. Mapa político

Com base nos limites municipais apresentados pelo IBGE do ano de 2018 (<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15774-malhas.html?=&t=downloads>) foi realizado um mapa político que apresenta os limites dos municipais dentro da área de estudo.

6.2.4.2. Rede de drenagem

Para a construção do mapa da rede de drenagem foram utilizadas técnicas de sensoriamento remoto em imagens orbitais do satélite *Sentinel* (Resolução espacial de 10 metros) de 12/08/2018 (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) conjugadas com processamentos em SIG. Os corpos d'água (espelho aparente) foram considerados os que apresentavam absorção na banda 8, infravermelho próximo (NIR 842 nm) que resultavam em um número digital (DN) abaixo de 1000. A rede fluvial foi obtida considerando os pontos mais baixos entre os talwegues, através de processamentos no QGIS e no GRASS GIS com do MDE ALOS PALSAR de 12,5 metros de resolução espacial da data 14/01/2011 e 12/02/2011 (<https://vertex.daac.asf.alaska.edu/#>). As informações dos nomes dos rios foram feitos a partir das informações encontradas na base cartográfica no Sistema Eletrônico de Informações da Bahia (SEI Bahia), essa imagem vetorial foi tirada do *WEBSIG* da Universidade Federal de Minas Gerais (obtida através do site: <https://maps.csr.ufmg.br>).

6.2.4.3. Declividade

O mapa de declividade foi produzido com o processamento em SIG (QGIS e com os algoritmos GDAL/ORG e GRASS GIS) com os dados do MDE ALOS PALSAR de 12,5 metros de resolução espacial da data 14/01/2011 e 12/02/2011 (<https://vertex.daac.asf.alaska.edu/#>), seguindo procedimentos apresentados pelos próprios softwares. O software calcula o grau de inclinação em porcentagem através da ferramenta *Slope* (fica no algoritmo GDAL/ORG dentro do QGIS), depois o *raster* gerado foi reclassificado de acordo com os valores propostos por Crepani *et al.*, 2001 para a vulnerabilidade de acordo com a porcentagem do grau

de inclinação em do relevo (esse procedimento foi feito usando o algoritmo GRASS GISS).

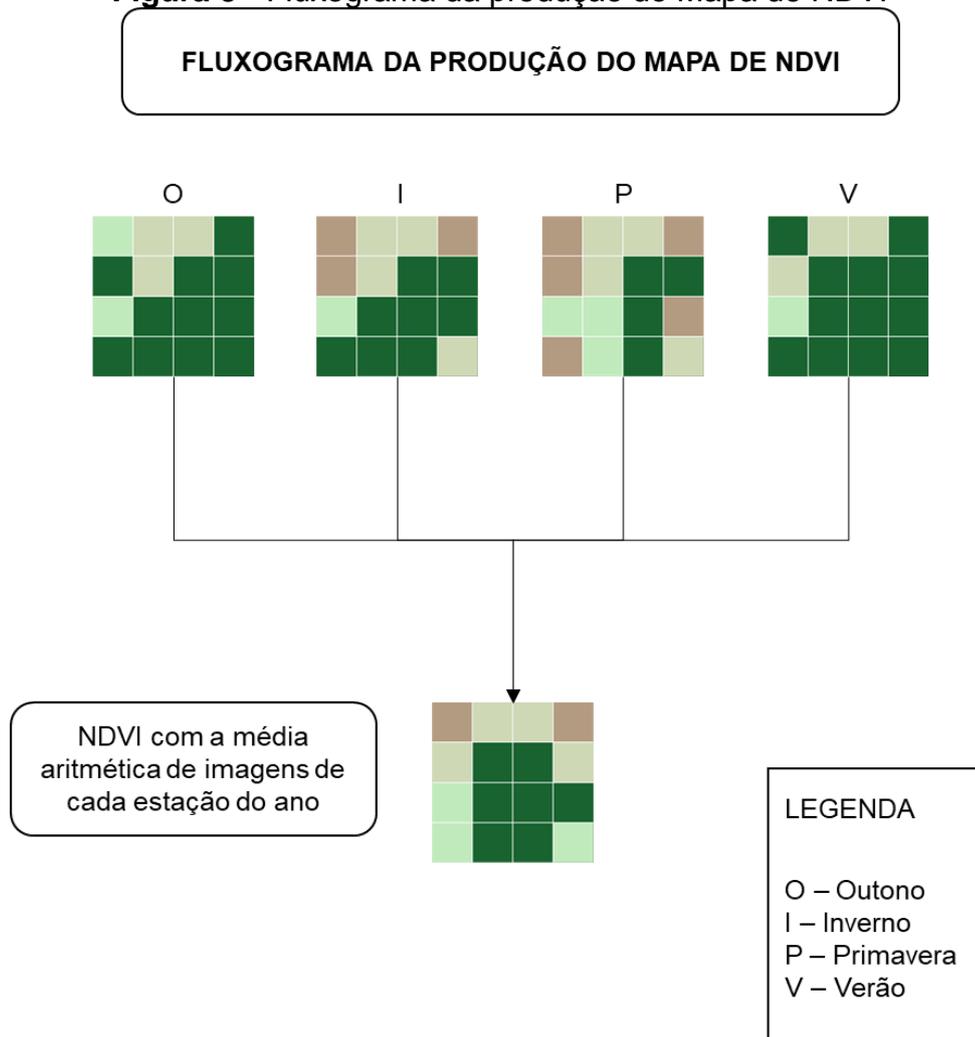
6.2.4.4. Pedologia

Realizada através da base cartográfica da folha de Aracajú SC-24 do IBGE, com escala de 1:250.000 ⁴ (<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/10871-pedologia.html?=&t=acesso-ao-produto>) foi extraído um mapa apresentando os tipos de solo existentes na área de estudo.

6.2.4.5. Índice de vegetação normalizada (NDVI)

O NDVI é o cálculo que se faz para obter a densidade da vegetação de um determinado local através de imagens com banda espectrais do infravermelho próximo e do infravermelho. Para a realização desse trabalho as imagens foram do satélite *Sentinel* que forma obtidas através do site do serviço geológico dos Estados Unidos (USGS) e da Agência Espacial Europeia (ESA). Foram feitos quatro cálculos de NDVI, em que foi considerada todas as estações do ano, e a média aritmética dos cálculos foi considerada como o mapa principal. Na Figura 8 estão os procedimentos para a elaboração do mapa de NDVI.

⁴ “Base de Dados Espacial 1:250.000, no recorte ao milionésimo - Base de dados em meio digital, disponibilizadas de acordo com o recorte geográfico do Mapeamento Topográfico Sistemático Terrestre do Brasil na escala 1:1 000 000, com consistência geométrica, estruturada e padronizada para uso em Sistemas de Informação Geográfica sobre o tema de pedologia” (IBGE, 2019).

Figura 8 - Fluxograma da produção do Mapa de NDVI

Fonte: Elaborado pelo autor.

6.2.4.6. Pluviosidade

Para o mapa de pluviosidade foi feito com as isoietas Médias Mensais de 1977 a 2006 do Atlas Pluviométrico do Brasil realizado pelo serviço geológico do Brasil – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) (Os dados foram baixados do site: <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-1351.html>).

6.2.4.7. Geologia

O mapa geológico foi realizado através da base cartográfica geológica da folha de Aracajú SC-24 apresentado pela CPRM, com escala de 1:250.000

(<http://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>) foi extraído um mapa apresentando as unidades geológicas e com rochas sendo obtidas através do Mapa Geológico da CPRM para a área de estudo.

6.2.4.8. Uso do solo

O mapa de uso do solo foi produzido a partir dos dados em formato matricial da plataforma MapBiomias do ano de 2017 (http://mapbiomas.org/pages/database/mapbiomas_collection). No raster cada valor de DN correspondia a uma classe que no próprio site do MapBiomias era disponibilizado a legenda.

6.2.4.9. Proximidade do traçado da área urbana e vias

O mapa contendo o traçado da área urbana e as vias foi produzido a partir da base cartográfica do Open Streets Maps (OSM) do ano de 2017. Nele foram extraídos os polígonos urbanos das cidades e as vias, caminhos, BR, BA.

6.2.4.10. Geomorfologia

Realizada através da base cartográfica da folha de Aracajú SC-24 do IBGE, com escala de 1:250.000 ⁵ (<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geomorfologia/10870-geomorfologia.html?=&t=acesso-ao-produto>) foi extraído um mapa apresentando os tipos de solo existentes na área de estudo.

6.2.4.11. Produção do mapa de vulnerabilidade ambiental

Para a produção do Mapa de vulnerabilidade natural e ambiental foi feita uma adaptação das metodologias propostas por Fushimi (2012), por Grigio (2003 apud

⁵ “Base de Dados Espacial 1:250.000, no recorte ao milionésimo - Base de dados em meio digital, disponibilizadas de acordo com o recorte geográfico do Mapeamento Topográfico Sistemático Terrestre do Brasil na escala 1:1 000 000, com consistência geométrica, estruturada e padronizada para uso em Sistemas de Informação Geográfica sobre o tema de pedologia” (IBGE, 2019).

Fushimi, 2012), Silva e Machado (2014) e Crepani *et al.* (2001). Primeiramente, neste trabalho foi considerado como mapa de vulnerabilidade natural o mapa produzido através do cálculo com a sobreposição de bases cartográficas dos aspectos naturais, nesse caso sendo: a declividade, pedologia, o NDVI, a pluviosidade e a geologia. Já o mapa de vulnerabilidade ambiental foi considerado esses aspectos naturais e os aspectos antrópicos, que são: o uso do solo e o traçado urbano. Os valores de vulnerabilidade foram adaptados de acordo com o trabalho de Crepani *et al.* (2001) que define em sua análise critérios para a obtenção da análise da vulnerabilidade ambiental a cada elemento natural de 1,0 até 3,0, sendo 1,0 mais estável (prevalecendo a pedogênese) e 3,0 mais instável (prevalecendo a morfogênese). Os valores estão representados na Tabela 5.

Tabela 5 - Níveis de Vulnerabilidade ambiental.

Unidade	Relação Pedogênese/Morfogênese	Valor
Estável	Prevalece a pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio entre pedogênese e morfogênese	2,0
Instável	Prevalece a morfogênese	3,0

Fonte: Crepani *et al.* (2001)

Já os valores dos pesos foram realizados de acordo com o trabalho de Silva e Machado (2014.) As autoras colocam a ação antrópica como um dos fatores mais importantes, por isso o uso do solo está como o mapa de maior peso e a proximidade da área de traçado urbano e de vias como um dos maiores. Outras variáveis que ganham um valor elevado são a declividade, a pedologia e o Índice de vegetação (NDVI). Enquanto a litologia é a que recebe o menor peso e pluviosidade o segundo menor. Na Tabela 6 estão os valores dos pesos das variáveis citadas acima. Nele nota-se a vulnerabilidade à perda de solo.

Tabela 6 - Ponderações das variáveis

Variável (Aspecto natural ou antrópico)	vulnerabilidade à perda de solo
Litologia (L)	6
Pedologia (PE)	13
Declividade (D)	13
Pluviosidade (PL)	8
Índice de vegetação NDVI (V)	13
Proximidade da área de traçado urbano e de vias (T)	12

Uso do solo (U)	35
-----------------	----

Modificado de Silva e Machado (2014).

Neste trabalho foi realizado o cálculo das variáveis multiplicando cada variável pelo peso e somando todas, por último dividindo pela soma de pesos para se chegar a valores de 1,0 a 3,0, em que será feita a análise de vulnerabilidade de acordo com os graus de vulnerabilidade expostos por Crepani *et al.* (2001). As fórmulas para a construção de ambos os mapas estão mostradas na equação para o mapa de vulnerabilidade natural e na equação para o mapa de vulnerabilidade ambiental.

Equação para o mapa de vulnerabilidade natural

$$VN = \frac{(L*6) + (PE*13) + (D*13) + (PL*8) + (V*13)}{53}$$

Equação para o mapa de vulnerabilidade ambiental

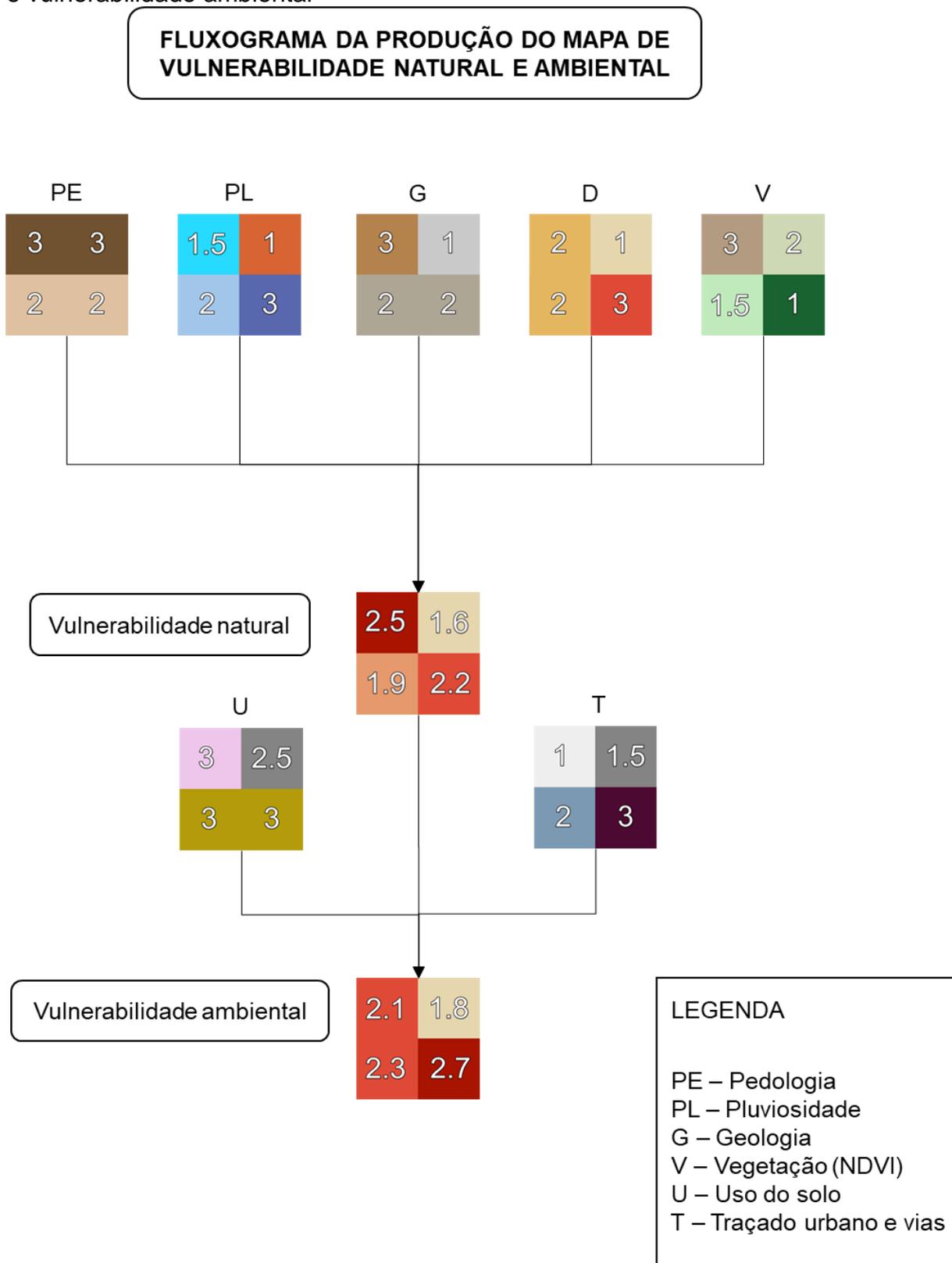
$$VA = \frac{(L*6) + (PE*13) + (D*13) + (PL*8) + (V*13) + (T*12) + (U*35)}{100}$$

Descrição das variáveis:

Onde: *L* = Litologia, *PE* = Pedologia, *D* = Declividade, *PL* = Pluviosidade, *V* = Vegetação, *T* = Traçado urbano e vias, *U* = Uso do solo

Primeiramente foi produzido o mapa de vulnerabilidade natural a declividade, pedologia, o NDVI, a pluviosidade e a geologia. Depois foi produzido o mapa de vulnerabilidade ambiental a declividade, pedologia, o NDVI, a pluviosidade e a geologia, uso do solo e traçado urbano e vias. Como mostra a Figura 9.

Figura 9 - Fluxograma das etapas para a produção do Mapa de vulnerabilidade natural e vulnerabilidade ambiental



Fonte: Elaborado pelo autor.

A pedologia é analisada como determinado tipo de solo é suscetível a erosão a partir da sua textura, da estrutura, a composição química, da espessura, e da relação textural entre os horizontes ou camadas para definir a susceptibilidade ambiental. Como os diferentes tipos de solo são erodidos pela ação da precipitação, solo acaba sendo o agente passivo e a chuva o agente ativo (Crepani *et al.*,2001). Na Tabela 7 estão os valores de vulnerabilidade de acordo com o tipo de solo.

Tabela 7 - Vulnerabilidade da Pedologia

Classe de solo	Vulnerabilidade
CXk - Cambissolo Háplico Carbonático	2,5
LAd - Latossolo Amarelo Distrófico	1
LVAAd - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	1
PVAd - Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	2
PVAe - Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico	2
RLd - Neossolo Litólico Distrófico	3
SXe - Planossolo Háplico Eutrófico	2

Adaptado de Crepani *et al.* (2001).

A pluviosidade é outro aspecto importante de ser analisado. Como a água é um dos agentes mais importantes do intemperismo, a quantidade de água e a sua distribuição espacial acaba sendo fundamental para entender a dinâmica da transformação dos geossistemas. Além disso, dependendo da quantidade de chuva e da distribuição existe mais erosão no solo. Os valores de pluviosidade estão representados na Tabela 8.

Tabela 8 - Vulnerabilidade da pluviosidade

Classes	Vulnerabilidade
≤ 41.7	1
41.7 - 50.0	1
50.0 - 58.3	1,1
58.3 - 66.7	1,1
50.0 - 58.3	1,1
50.0 - 58.3	1,1
> 66.7	1,1

Adaptado de Crepani *et al.* (2001).

Na litologia, Crepani *et al.*,(2001) procura estipular o grau de coesão das rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, ou seja, a intensidade da ligação entre os minerais para estimar o grau de vulnerabilidade ambiental. Na área de estudo, os valores do grau de vulnerabilidade de geologia foram adaptados a partir dos critérios

propostos por Crepani *et al.* (2001) (Anexo 4). Entretanto, como nas formações, unidades e complexos na maioria das vezes existe mais de um único tipo de rocha com predominância, optou-se por fazer a média aritmética de cada unidade, formação ou complexo existente dentro da área de estudo. Dessa forma cada unidade recebeu o valor dessa média aritmética. Os valores da vulnerabilidade à litologia estão na Tabela 9 abaixo.

Tabela 9 - Vulnerabilidade da litologia

Sigla	Nome	Composição	Cálculo da média aritmética com a vulnerabilidade	Vulnerabilidade
Q1rd	Coberturas residuais	Areia argilosa e argila	$(3 + 2,7) / 2$	2,85
NQdl	Coberturas detrito-lateríticas ferruginosas	Areia com níveis de argila e cascalho e crosta laterítica	$(3 + 3) / 2$	3,0
NP2be	Formação Bebedouro	Diamictito. pelito e arenito	$(2,7 + 2,7 + 2,4) / 3$	2,6
MPt2	Tombador - fácies 2	Arenito, conglomerado polimítico, arenito conglomerático e pelito	$(2,4 + 2,5 + 2,5 + 2,7) / 4$	2,52
PP3y4pj	Granitos Campo Formoso. Jaguarari. Carnaíba. Flamengo e Cachoeira Grande	Leocogranito, Biotita, muscovita e granito	$(1,1 + 1,7 + 1,7 + 1,1) / 6$	1,4
PP3jr	Rio do Ouro	Ortoquartzito e fuchsita quartzito	$(2,4 + 1,0) / 2$	1,7

PP3js	Serra do Córrego	Metaconglomerado oligomítico, quartzito e quartzito micáceo	$(2,5 + 1,0 + 1,0) / 3$	1,5
PP2y2ml	Granitóides Lagoa D'anta - Lajedinho e Miguel Calmon	Sienogranito, monzogranito e granodiorito.	$(1,1 + 1,1 + 1,2)$	1,13
PP2ycf	Complexo básico-ultrabásico Campo Formoso	Serpentino, talco xisto, anfibólito e cromitito	$(1,8 + 2,0 + 1,8 + 1,8) / 4$	1,85
PP2yvc	Corpos Máfico-Ultramáficos da Serra do Cantagalo	Tremolitito, metaperidotito e tremolita xisto	$(1,9 + 1,8 + 1,9) / 3$	1,86
PP1s1	Saúde - unidade 1	Paragnaisse, migmatítico e quartzito	$(1,3 + 1,3 + 1,0) / 3$	1,2
PP1s2	Saúde - unidade 2	Paragnaisse e xisto aluminosos, em parte, migmatíticos, quartzito, formação ferrífera, metamáfico e metaultramáfico	$(1,3 + 2,0 + 1,3 + 1,0 + 1,0 + 1,0 + 1,0) / 7$	1,22
PP1s3	Saúde - unidade 3	Rocha calcissilicática, quartzito impuro e rochas metamáfica e metaultramáfica	$(2,9 + 1,0 + 1,1 + 1,1)$	1,52
A4it1	Itapicuru - fácies 1	Filito, quartzito xisto, xisto aluminoso, mica xisto, metarritmito, formação ferrífera, metavulcanitos máfico e félsico, quartzito e metaconglomerado	$(2,1 + 2,0 + 2,0 + 2,0 + 1,1 + 1,1 + 1,1 + 1,0 + 2,5) / 10$	1,46
A4it2	Itapicuru - fácies 2	Quartzito puro e micáceo	$(1,0 + 1,0) / 2$	1,0

A4PP2Uj	Corpos Ultramáficos da Serra de Jacobina	Serpentino e talco xisto	$(1,8 + 2,0) / 2$	1,9
A2mo	Complexo Mairi	Ortognaisses tonalítico-trondhjemitico-granodiorítico, com enclaves máficos e ultramáfico	$(1,3 + 1,1 + 1,1) / 3$	1,16

Modificado de Crepani *et al.* (2001).

A declividade, segundo Crepani, representa os aspectos morfográficos (forma e grau de dissecação do relevo pela drenagem) e morfométricos (em relação a amplitude altimétrica e grau de inclinação) em relação a vulnerabilidade ambiental (erosibilidade do solo). Os valores de vulnerabilidade são considerados de acordo com os ângulos de inclinação das encostas, em que nos locais com menor inclinação estão associados à pedogênese e a maior inclinação à morfogênese. Na Tabela 10 abaixo apresenta os valores de vulnerabilidade atribuídos por Crepani *et al.* (2001) às diferentes declividades do terreno.

Tabela 10 – Vulnerabilidade da declividade

Classes Morfométricas	Declividade (%)	Valores de Vulnerabilidade
Muito baixa	< 2	1,0
Baixa	2 – 6	1,5
Média	6 – 20	2,0
Alta	20 – 50	2,5
Muito alta	> 50	3,0

Adaptado de Crepani *et al.* (2001).

NDVI foi feito para mostrar a densidade de vegetação. Segundo Silva e Machado (2014), o NDVI traz em evidência o vigor da vegetação com as imagens do infravermelho próximo e vermelho que evidenciam a cobertura vegetal. Os valores de vulnerabilidade de acordo com o vigor de vegetação estão representados na Tabela 11.

Tabela 11 - Vulnerabilidade da vegetação no NDVI

Classes de NDVI	Valores de Vulnerabilidade
Alto Vigor (0,490196078 – 1)	1,0
Médio Vigor (0,341176471 - 0,490196078)	1,5
Baixo Vigor (0,215686275 - 0,341176471)	2

Baixíssimo Vigor/Ausência (0,066666667 - 0,215686275)	2,5
Ausência Vegetação (-1 - 0,066666667)	3

Silva e Machado (2014).

A proximidade do traçado da área urbana e vias foi adaptado a partir do trabalho de Silva e Machado (2014). No caso deste trabalho a mudança foi colocar o polígono urbano do traçado das cidades e povoados por conta da permeabilidade do solo encontrada nesses locais, gerando maior escoamento superficial. Foram feitos buffers que estabeleciam que quanto maior a proximidade com o traçado urbano e vias, maior é vulnerabilidade. Os valores da vulnerabilidade do traçado urbano com as vias estão na Tabela 12.

Tabela 12 - Vulnerabilidade da proximidade com o traçado urbanas e vias

Proximidade com o traçado da área urbana e com as vias	Valores de Vulnerabilidade
Buffer acima de 50 metros	1
Buffer de 50 metros	2
Buffer de 25 metros	3
Buffer de 10 metros	4
Buffer de 5 metros	5

Silva e Machado (2014).

O uso do solo (ou uso da terra) foi a principal varável a ser ponderado. Segundo Benevides a ação antrópica tem maior potencial de intensificar ação da vulnerabilidade ambiental, por isso é o fator mais considerado no mapa de vulnerabilidade ambiental. Os valores do uso do solo estão na Tabela 13.

Tabela 13 - Vulnerabilidade do uso do solo/terra

Classes	Vulnerabilidade
Floresta Natural	1
Agricultura	2
Agricultura e Pastagem	2
Corpos d'água	1
Formação Campestre	1.5
Área não vegetada	2.5
Pastagem	2
Área Urbana	3
Mineração	3

Silva e Machado (2014).

As tabelas sofreram algumas adaptações para se enquadrar melhor a realidade da área de estudo.

6.2.5. Zoneamentos das áreas prioritárias de conservação e de maior atenção

Os zoneamentos e os pontos de áreas mais prioritárias de preservação e conservação foram definidos de acordo com o grau de vulnerabilidade natural e vulnerabilidade ambiental. As áreas prioritárias de conservação foram consideradas as áreas com vulnerabilidade medianamente estável/vulnerável até vulnerável no mapa de vulnerabilidade natural. Enquanto os pontos de maior atenção foram as áreas vulnerabilidade medianamente estável/vulnerável até vulnerável no mapa de vulnerabilidade ambiental. A tabela que define as classes de vulnerabilidade foi feita adaptada a partir da tabela de Crepani *et al.*, 2001, mostrada na Tabela 14 abaixo.

Tabela 14 - Estágios de vulnerabilidade

Valor de vulnerabilidade	Classe
<= 1.3	Estável
1.3 - 1.8	Moderadamente estável
1.8 - 2.3	Medianamente estável/ vulnerável
2.3 - 2.7	Moderadamente vulnerável
> 2.7	Vulnerável

Adaptado de Crepani *et al.* (2001).

É importante ressaltar que Crepani *et al.* (2001) utiliza essas classes para a vulnerabilidade natural e na metodologia deles os fatores naturais são calculados de forma aritmética, entretanto neste trabalho será usado para ambos os mapas.

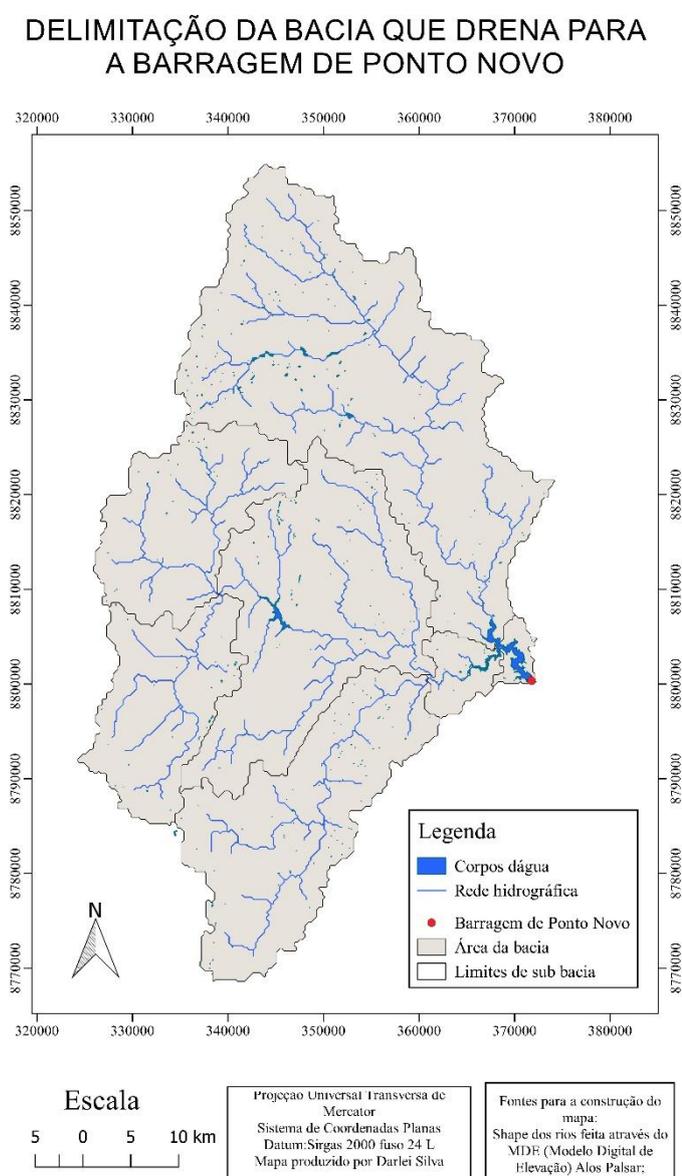
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram divididos de acordo com a ordem dos objetivos. Inicialmente a delimitação da área da bacia hidrográfica que drena para a Barragem de Ponto Novo. Depois os mapeamentos de base para a análise integrada e mapeamento de vulnerabilidade natural e vulnerabilidade ambiental, evidenciado o papel de cada elemento para o grau de vulnerabilidade à perda de solo, dentro das variáveis (aspectos naturais e antrópicos. Depois o mapa de vulnerabilidade natural e vulnerabilidade ambiental; e por últimos as áreas prioritárias para a conservação e os locais críticos onde se deve ter maior atenção e cuidado dentro da Bacia. Na Figura 10 está a delimitação da Bacia que drena para a Barragem de Ponto Novo

7.1. DELIMITAÇÃO DA BACIA

A delimitação da bacia mostrou existem dois eixos principais que levam água para a Barragem de Ponto Novo, sendo que um deles é o Rio do Aipim e o outro é Itapicuru-Açu, cuja o curso vai além da própria área da Bacia que drena para a Barragem de Ponto Novo. Outro fator interessante com a delimitação da bacia é que mostra um relevo de grande altitude

Figura 10 - Delimitação da Bacia que drena para a Barragem de Ponto Novo



Fonte: Elaborado pelo autor.

próximo do centro com a unidade geomorfológica da Serra de Jacobina que tem categoria estrutural convexa (parte oeste). Dessa forma as nascentes estão tanto na serra, como nas áreas finais da bacia limítrofes com a bacia do Salitre.

7.2. MAPEAMENTOS DE BASE PARA A VULNERABILIDADE NATURAL E VULNERABILIDADE AMBIENTAL

Como resultado do trabalho foram reclassificadas todos as variáveis citadas na metodologia tanto os naturais, como: pedologia, litologia, pluviosidade, NDVI e declividade. Assim como as antropológicas: proximidade com o traçado urbano e uso do solo. Sendo assim, será apresentado nos resultados primeiramente as informações da serra de forma separada para depois se mostrar de forma conjunta no mapa de vulnerabilidade natural e ambiental.

7.2.1. Vulnerabilidade nos aspectos naturais

Como já citado, a vulnerabilidade natural neste trabalho considera apenas os seguintes aspectos naturais: pedologia, declividade, litologia, pluviosidade e NDVI. Por isso, inicialmente será apresentada uma discussão a respeito desses aspectos naturais.

7.2.1.1. Pedologia

A primeira variável citada é a pedologia, mais especificamente o tipo de solo da região, segundo o Sistema brasileiro de classificação de solos. A área de estudo tem uma grande variedade de tipos de solos. Cinco tipos diferentes de solo se apresentam na área de estudo, sendo que existem dois tipos de argissolos e latossolos que se forem considerados as suas subclassificações de segunda ordem, chegamos ao número de sete tipos diferentes, são eles: CXk - Cambissolo Háplico Carbonático, LAd - Latossolo Amarelo Distrófico, LVAd - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, PVAd

- Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico, PVAe - Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico, RLd - Neossolo Litólico Distrófico, SXe - Planossolo Háplico Eutrófico.

Segundo a EMBRAPA os cambissolos geralmente aparecem em relevos ondulados e que não possuem horizonte superficial A Húmico. A região da área de estudo onde estes solos aparecem, é justamente em uma região com relevo ondulado, no município de Campo Formoso. Esta região apresenta o tipo de solo carbonático, que como o próprio nome dá a entender, tem presença de carbonato de cálcio na sua composição, o que não afeta o desenvolvimento da maioria das plantas (EMBRAPA, 2019). O Cambissolo Háplico Carbonático típico, não apresenta nenhuma característica restritiva em relação as características e as implicações para o manejo. Na Tabela 15 estão algumas características para esse tipo de solo.

Tabela 15 - Cambissolo Háplico

Legenda	CXk - Cambissolo Háplico Carbonático
Ordem	Cambissolo
Subordem	Háplico
Grande grupo	Carbonático
Subgrupo	Típico
Textura	Média e argilosa
Relevo	Plano e suave ondulado

Fonte: Embrapa (2019). Elaborado pelo autor.

Segundo a EMBRAPA esse tipo de solo ocorre em relevo plano ou suavemente ondulado. Os latossolos amarelos possuem uma cor amarelada e o teor de argila que são uniformes em profundidade. Esse tipo de solo tem uma elevada coesão dos agregados estruturais e a sua textura mais geral e recorrente acaba sendo a argilosa ou a muito argilosa. Como já citado, esse tipo de solo é bem coeso, por isso tem uma boa permeabilidade e boas condições físicas de retenção de umidade. Na área de estudo o latossolo amarelo é do tipo distrófico, que acaba tendo uma baixa fertilidade, mas em relação as características e as implicações para o manejo, latossolo amarelo distrófico típico não apresenta nenhuma característica restritiva. Na Tabela 16 estão algumas características para esse tipo de solo.

Tabela 16 - Latossolo Amarelo

Legenda	LAd - Latossolo Amarelo Distrófico
Ordem	Latossolo
Subordem	Amarelo
Grande grupo	Distrófico
Subgrupo	Típico
Textura	Média e argilosa
Relevo	Suave ondulado e ondulado

Fonte: Embrapa (2019). Elaborado pelo autor.

Segundo a EMBRAPA, esse tipo de solo ocorre em relevo plano ou suavemente ondulado. Ele aparece em ambiente bem drenado com uniformidade em relação à cor, textura e estrutura. Esse tipo de solo é profundo e poroso ou muito poroso, por causa disso, apresenta condições adequadas para que tenha um bom desenvolvimento radicular em profundidade. Entretanto na área de estudo o solo da área de estudo por ser distrófico apresenta baixa fertilidade. Em relação às características e às implicações para o manejo, latossolo vermelho amarelo distrófico típico não apresenta nenhuma característica restritiva. Na Tabela 17 estão algumas características para esse tipo de solo.

Tabela 17 - Latossolo Vermelho

Legenda	LVAAd - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico
Ordem	Latossolo
Subordem	Vermelho-amarelo
Grande grupo	Distrófico
Subgrupo	Típico
Textura	Argilosa
Relevo	Suave ondulado e plano

Fonte: Embrapa (2019). Elaborado pelo autor.

Segundo a EMBRAPA os argissolos vermelhos ocorrem em áreas de relevos mais acidentados e dissecados e tem, assim como o neossolo, maior susceptibilidade à erosão. Na área de estudo existem dois tipos de argissolos vermelhos, o distrófico e eutrófico. A principal diferença entre os dois é que enquanto o argissolos vermelhos eutróficos tem alta fertilidade, o argissolos vermelhos distróficos tem baixa fertilidade. Em relação às características e às implicações para o manejo, ambos como são no

quarto nível solos típicos, não apresentam nenhuma característica restritiva. Na Tabela 18 e 19 estão algumas características para esses tipos de solo.

Tabela 18 - Argissolo Vermelho

Legenda	PVAd - Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico
Ordem	Argissolo
Subordem	Vermelho-amarelo
Grande grupo	Distrófico
Subgrupo	Típico
Textura	Média/argilosa
Relevo	Ondulado e suave ondulado

Fonte: Embrapa (2019). Elaborado pelo autor.

Tabela 19 - Argissolo Vermelho-Amarelo

Legenda	PVAe - Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico
Ordem	Argissolo
Subordem	Vermelho-amarelo
Grande grupo	Eutrófico
Subgrupo	Típico
Textura	Média/argilosa
Relevo	Ondulado e forte ondulado

Fonte: Embrapa (2019). Elaborado pelo autor.

Segundo a EMBRAPA, os neossolos estão associados desde relevos muito movimentados (ondulados a montanhosos) até áreas mais planas quando existe a influência do lençol freático. No caso da área de estudo esse tipo de solo predomina nos ambientes de maior altitude. Os neossolos da área de estudo apresentam uma baixa fertilidade por se tratar de neossolo litólico distrófico. Em relação às características e às implicações para o manejo, o neossolo litólico distrófico não apresenta nenhuma característica restritiva. Na Tabela 20 estão algumas características para esse tipo de solo.

Tabela 20 - Neossolo Litólico

Legenda	RLd - Neossolo Litólico Distrófico
Ordem	Neossolo
Subordem	Litólico
Grande grupo	Distrófico
Subgrupo	Típico

Textura	Arenosa e média
Relevo	Forte ondulado e montanhoso

Fonte: Embrapa (2019). Elaborado pelo autor.

O planossolo, como o próprio nome já dá a entender ocorre em área planas e suaves onduladas, segundo a EMBRAPA. São geralmente solos profundos, em que o horizonte superficial tem cores claras e com textura arenosa ou média. Segundo a EMBRAPA esses solos em áreas planas são bons principalmente para a agricultura irrigada de arroz, embora tenha uma permeabilidade lenta devido ao acúmulo de argila em sua superfície. Na área de estudo esse tipo de solo está localizado próximo da barragem onde se tem a cultura irrigada. Na região como é um tipo de solo eutrófico tem alta fertilidade. Além disso, no solo da região existe a presença de sódio tolerada pela maioria das plantas. Na Tabela 21 estão algumas características para esse tipo de solo.

Tabela 21 - Planossolo Háplico

Legenda	SXe - Planossolo Háplico Eutrófico
Ordem	Planossolo
Subordem	Háplico
Grande grupo	Eutrófico
Subgrupo	Solódico
Textura	Arenosa/média, arenosa/argilosa e média/argilosa
Relevo	Plano e suave ondulado

Fonte: Embrapa (2019). Elaborado pelo autor.

Analisando todos os tipos de solo de forma conjunta a porcentagem dos solos da área de estudo mostra que o maior percentual de área é de neossolo. Entretanto vale-se ressaltar que o neossolo está concentrado na região principalmente das áreas mais altas da unidade geomorfológica da Serra de Jacobina, isso eleva o potencial erosivo da área de estudo. Na Tabela 22 estão representadas as Áreas dos tipos de solos na Área de estudo.

Tabela 22 - Áreas dos tipos de solos na Área de estudo

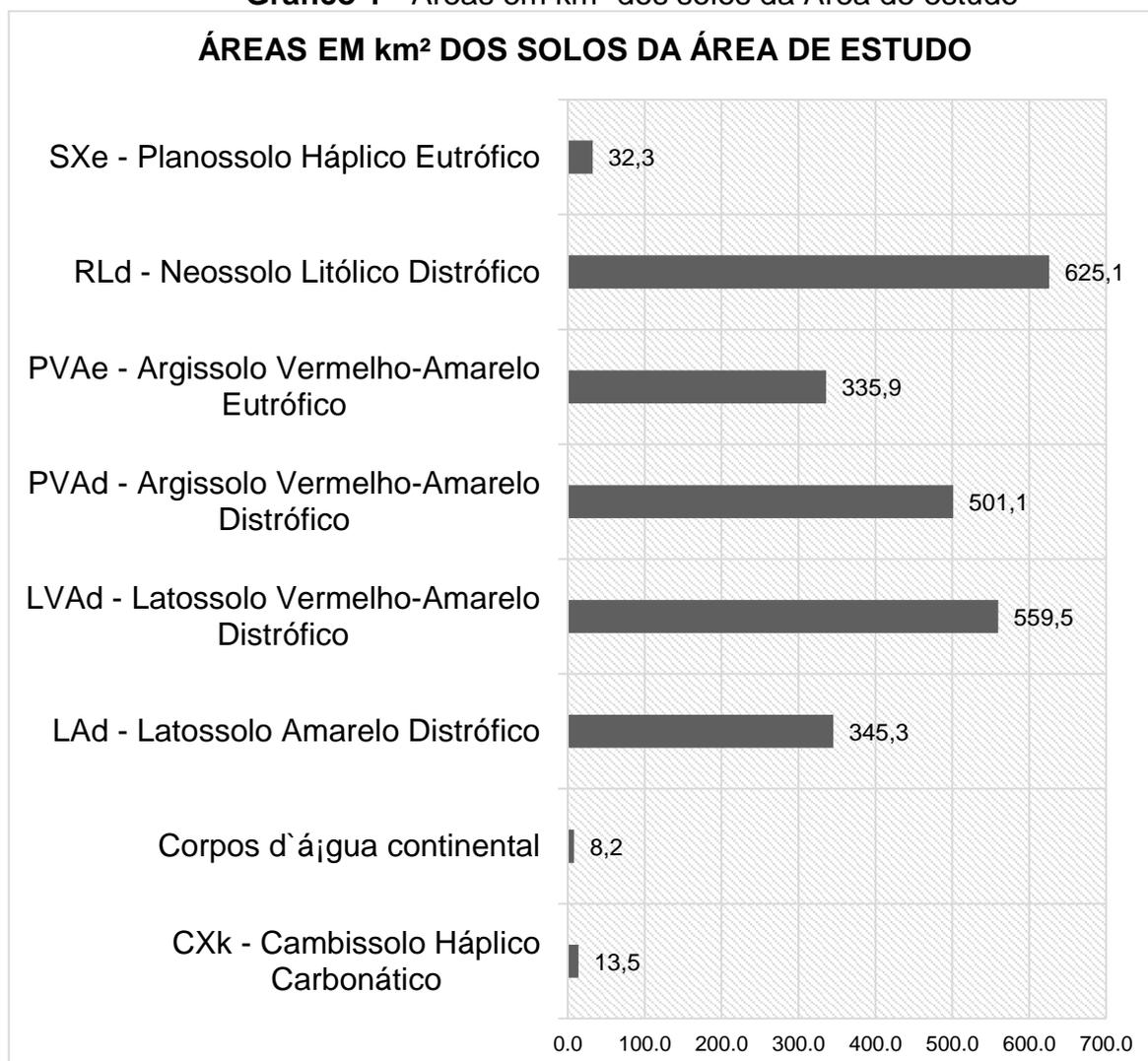
Tipo de solo	Área	Porcentagem
CXk - Cambissolo Háplico Carbonático	13.86	0.571
Corpos d'água continental	8.227	0.339
LAd - Latossolo Amarelo Distrófico	345.293	14.222

LVA _d - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	559.502	23.045
PVA _d - Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	501.134	20.641
PVA _e - Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico	335.91	13.835
RL _d - Neossolo Litólico Distrófico	626.119	25.789
SX _e - Planossolo Háplico Eutrófico	32.346	1.332

Fonte: Embrapa (2019). Elaborado pelo autor.

No Gráfico 1, nota-se como existe uma grande quantidade de neossolo litólico e latossolo vermelho dentro da área de estudo, enquanto cambissolo Háplico é o que tem em menor quantidade. Se for considerada apenas a 1ª ordem de solos (segundo a classificação brasileira de solos), o solo predominante é latossolo, seguido do argissolo. E na Figura 11 está o Mapa pedológico da Área de estudo.

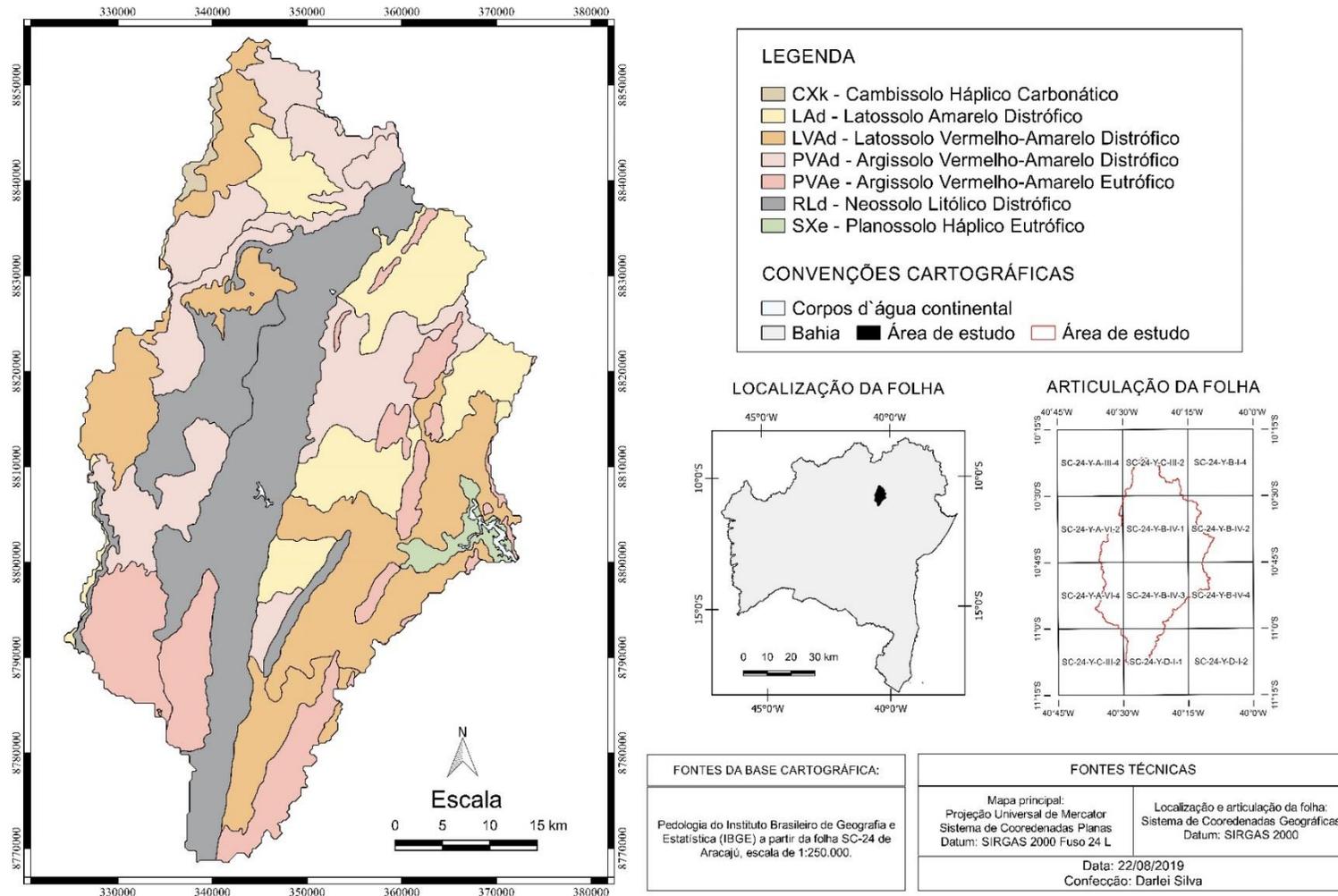
Gráfico 1 - Áreas em km² dos solos da Área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 11 - Mapa pedológico da área de estudo

MAPA PEDOLÓGICO DA BACIA QUE DRENA PARA BARRAGEM DE PONTO NOVO - BA



Fonte: Elaborado pelo autor.

7.2.1.2. Litologia

A litologia da região é bastante diversificada. A CPRM (no seu mapeamento SC-24 da folha de Aracajú) coloca a geologia de acordo com unidades, formações e complexos, no qual os tipos de rochas que tem em maior quantidade nesses locais são colocados. Por isso a análise de vulnerabilidade litológica será com as unidades, formações e complexos, mas mostrando as rochas desses locais. A área de estudo tem 17 unidades contando com formações e complexos. As áreas de maior vulnerabilidade litológica são as coberturas detritos lateríticas que são localizadas em pequenos pontos ao longo da área de estudo. As 5 maiores unidades geológicas em ordem decrescente são: PP3y4pj (Granitos Campo Formoso, Jaguarari, Carnaíba, Flamengo e Cachoeira Grande) que tem 15, 7%; A4it1 (Itapicuru - fácies 1) com 14,7%; PP1s2 (Saúde - unidade 2) que tem 15%; PP1s1 (Saúde - unidade 1) que tem 12%; e PP3jr (Rio do Ouro) com 11, 7%. Ambos somados chegam a quase 70% (69.3%) de toda área da bacia hidrográfica, como é mostrado na Tabela 23.

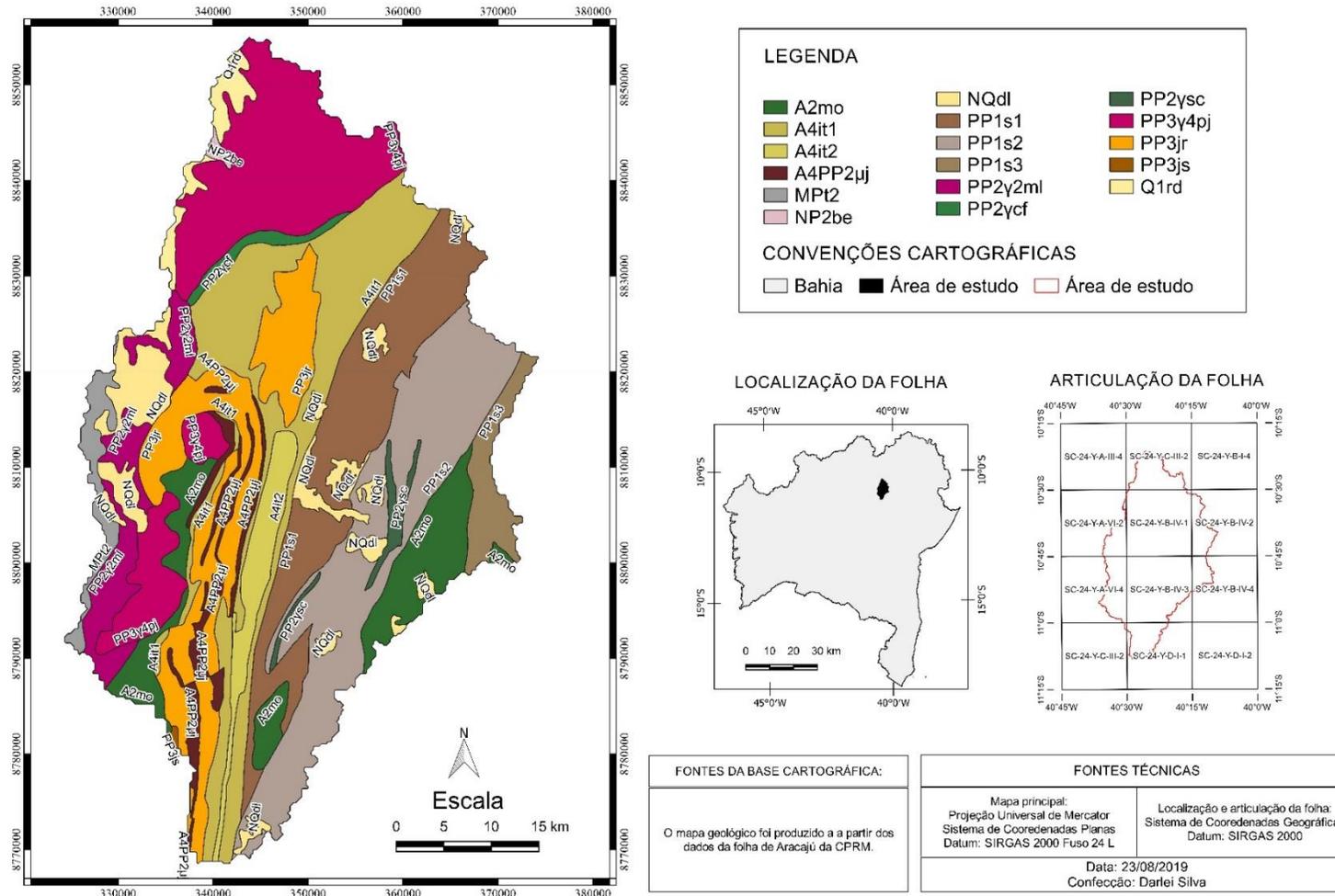
Tabela 23 - Áreas geológicas na Área de estudo

Sigla	Área Km2	Percentual %
A2mo	179,5	7
A4PP2μj	58,8	2
A4it1	357,5	15
A4it2	73,8	3
MPt2	41,2	2
NP2be	4,8	0
NQdl	136,4	6
PP1s1	294,8	12
PP1s2	364,7	15
PP1s3	63,4	3
PP2y2ml	104,7	4
PP2ycf	20,3	1
PP2yvc	22,5	1
PP3y4pj	381,5	16
PP3jr	284,7	12
PP3js	1,9	0
Q1rd	35,6	1

Fonte: CPRM (2019). Elaborado pelo autor.

A litologia é uma das variáveis que recebe menos peso em relação as demais variáveis, entretanto merece ser bem observada, pois em locais onde se tem uma grande concentração de rochas detrito lateríticas ferruginosas e conglomerados existe um potencial grande para a vulnerabilidade à perda de solo, isso se ocorre modifica o geossistema local e alterando todas as variáveis com o tempo. Entretanto a maioria da área de estudo tem um grau de vulnerabilidade bem baixo, as cinco unidades citadas anteriormente como 69% de toda área tem como rochas de predominância com um alto grau de coesão. PP3y4pj (Granitos Campo Formoso, Jaguarari, Carnaíba, Flamengo e Cachoeira Grande) é formada por Leocogranito, Biotita, muscovita e granito; A4it1 (Itapicuru - fácies 1) é formado por Filito, quartzo xisto, xisto aluminoso, mica xisto, metarritmito, formação ferrífera, metavulcanitos máfico e félsico, quartzito e metaconglomerado; PP1s2 (Saúde - unidade 2) é formado por Paragnaisse e xisto aluminosos, em parte, migmatíticos, quartzito, formação ferrífera, metamáfico e metaultramáfico; PP1s1 (Saúde - unidade 1) é formado por Paragnaisse, migmatítico e quartzito; E PP3jr (Rio do Ouro) é formado por Ortoquartzito e fuchsita quartzito. Dessa forma, nota-se que na variável litologia avulnerabilidade é maior e m pontos pequenos com predominância de areia e argila formado recente, no tempo geológico no eon fanerozóico e em alguns casos no cenozoico. Na Figura 12 está o mapa geológico da Área de estudo com as siglas que representam unidades, formações ou complexos. As rochas de predominância de cada sigla estão na Tabela 9 na página 53.

Figura 12 - Mapa geológico da Área de estudo
MAPA GEOLÓGICO DA BACIA QUE DRENA PARA BARRAGEM DE PONTO NOVO - BA



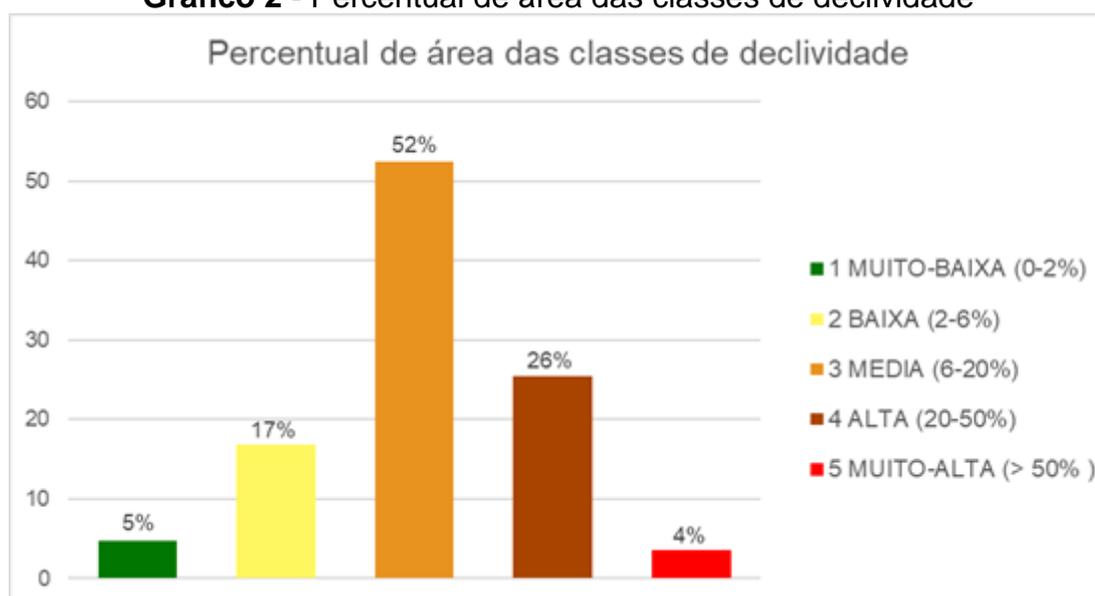
Fonte: Elaborado pelo autor.

7.2.1.3. Declividade

A segunda variável citada é a declividade. Para a vulnerabilidade tanto natural como ambiental, a declividade é um dos fatores que mais incrementam o potencial de vulnerabilidade à perda de solo de uma determinada região. Isso acontece por conta do aumento da força da energia cinética de acordo com o grau de inclinação de um determinado local. Na área de estudo existe uma grande área com grau de inclinação elevado, principalmente na parte de maior altitude da unidade geomorfológica Serra de Jacobina. No Figura 13 dá para se notar melhor a disparidade existente entre a declividade da unidade geomorfológica Serra de Jacobina que tem categoria estrutural convexa (parte oeste) e os tabuleiros interioranos. Enquanto nessa área tem muita declividade alta a outra tem pouco declividade baixa. Na declividade baixa isso se inverte. Sendo assim, conclui-se que a área que se tem maior vulnerabilidade e a que se deve ter maior cuidado em relação a esse aspecto é a área da unidade geomorfológica da Serra de Jacobina.

Para a área de estudo 52% se apresenta com declividade considerada média, enquanto 30% alta e muito alta, somente 22% apresentam declividade baixa ou muito baixa (Gráfico 1). Isso demonstra que a morfologia do relevo da região é acidentada, com as declividades maiores no entorno da Serra da Jacobina Gráfico 2.

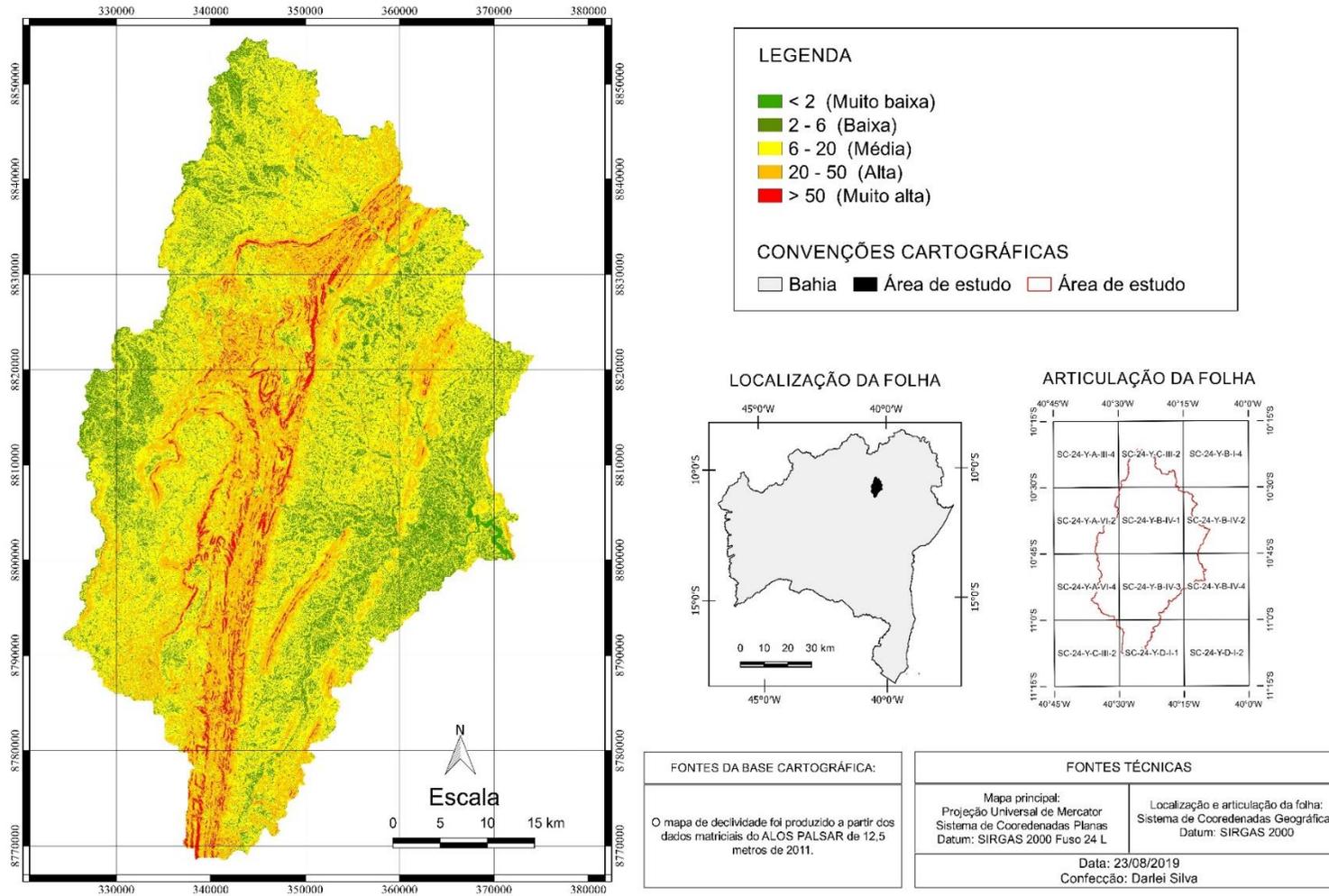
Gráfico 2 - Percentual de área das classes de declividade



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 13 - Mapa de declividade da Área de estudo

MAPA DE DECLIVIDADE DA BACIA QUE DRENA PARA BARRAGEM DE PONTO NOVO - BA

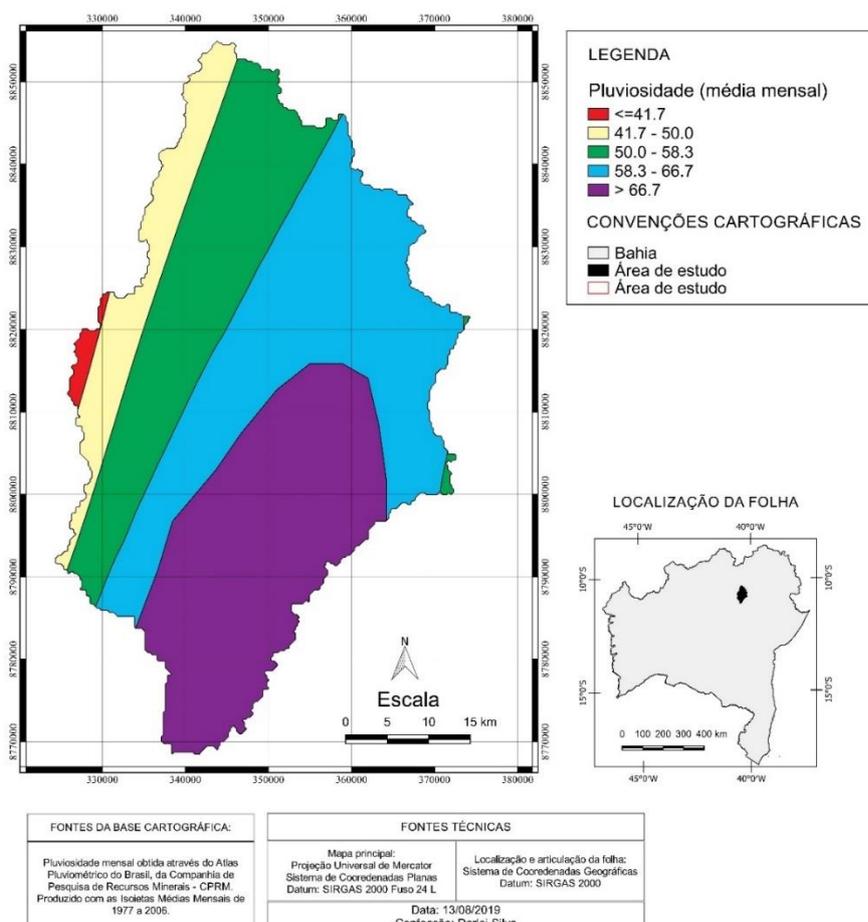


Fonte: Elaborado pelo autor.

7.2.1.4. Pluviosidade

Como já citado, neste trabalho a metodologia para identificar a vulnerabilidade das rochas foi uma adaptação da metodologia de Crapani *et al.* (2001), no qual o autor definia de acordo com o grau de coesão das rochas. Sendo assim, as rochas com menos coesão, geralmente sedimentares, foram as que ganharam maior valor de vulnerabilidade. Um fato interessante a ser notado é que as unidades com tempo geológico menor São justamente as que ganham maior vulnerabilidade, enquanto as que são mais antigas por geralmente terem maior preponderância de rochas ígneas e sedimentares acabam tendo uma vulnerabilidade à perda de solo pequena. Na Figura 14 está representado o Mapa de pluviosidade.

Figura 14 - Mapa de pluviosidade da Área de estudo
 MAPA DE PLUVIOSIDADE DA BACIA QUE DRENA PARA BARRAGEM DE PONTO NOVO - BA

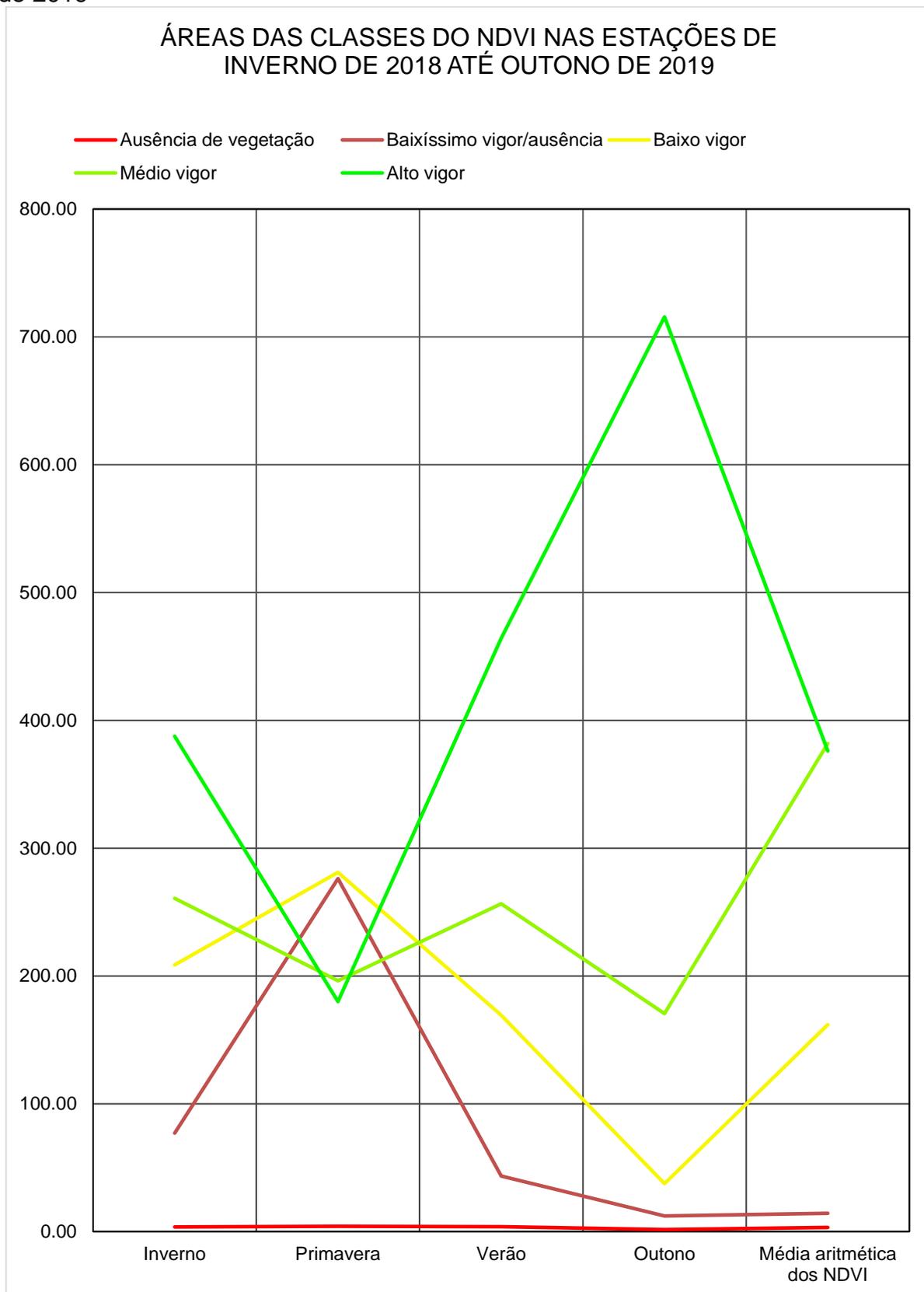


Fonte: Elaborado pelo autor.

7.2.1.5. O NDVI

O NDVI por conta de um pouco do que já foi citado anteriormente sobre a pluviosidade, tem uma variação da vegetação nas estações. A concentração das chuvas geralmente é em uma estação do ano e existe uma disparidade fazendo com haja duas estações principais na área de estudo. Como se nota no Gráfico 3 e na Figura 15, no verão e no outono existe um maior de vigor de vegetação, enquanto no inverno e na primavera a vegetação tem um vigor bem menor. Por conta dessa disparidade no vigor de vegetação entre as estações não dava para se analisar a vegetação do período de um ano em apenas uma única imagem com uma determinada data, por isso, como é mostrado na metodologia, foi feita a média aritmética de quatro imagens das quatro diferentes estações do ano para se obter um NDVI usado para identificar a vulnerabilidade à perda de solo. Neste NDVI (Figura 16), nota-se que existe uma maior concentração de áreas com um alto de vegetação nas áreas mais altas e um baixo vigor de vegetação nas áreas mais próximas da barragem de Ponto Novo. Se for analisado o NDVI das áreas próximas da barragem de Ponto Novo, notamos que no inverno e principalmente o baixíssimo vigor tem um tamanho considerável, enquanto no verão e no outono isso diminui. Já área mais alta da unidade geomorfológica da Serra de Jacobina se mantem com alto vigor ao longo de todo ano. Isso é importante de ser ressaltado porque esse alto vigor de vegetação interfere de forma considerável na diminuição do grau de vulnerabilidade à perda de solo. Quando se tem um local com vegetação mais densa, ou seja, com um alto vigor de vegetação, ocorre mais interceptação das gotas de água, e isso, acaba diminuindo a erosão do solo. Por isso, que é importante preservar a vegetação, pois sem os cuidados necessários, a falta dessa vegetação irá potencializar ainda mais o grau de erosão e a vulnerabilidade à perda do solo. No gráfico 3, nota-se a variação entre da quantidade de área das classes do NDVI ao longo das diferentes estações. Na estação de outono o vigor de vegetação fica bem maior do que os demais, enquanto o baixo vigor de vegetação cai bruscamente na mesma estação. Na Figura 15 está representada espacialmente o NDVI de acordo com o período do ano e na Figura 16 está representado o Mapa do NDVI da Área de estudo.

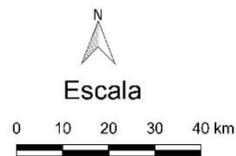
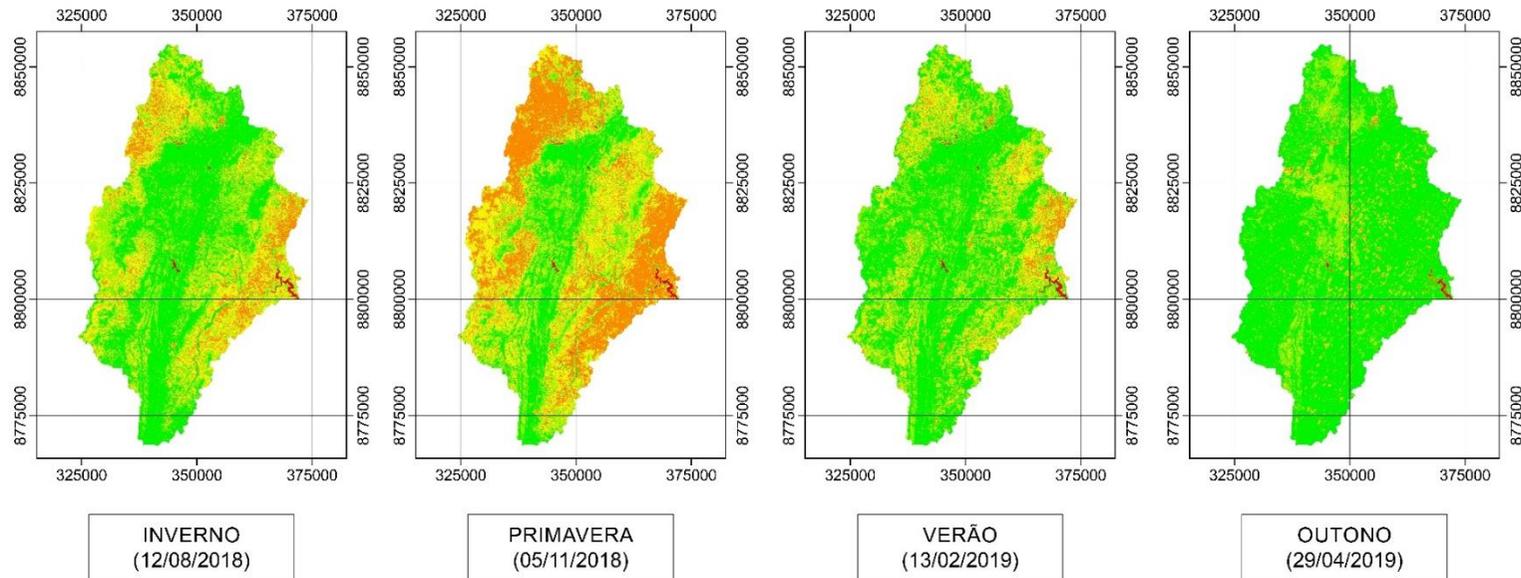
Gráfico 3 - Áreas das classes do NDVI nas estações de inverno de 2018 até outono de 2019



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 15 - NDVI das quatro estações de 2018 até 2019 da Área de estudo

NDVI DAS QUATRO ESTAÇÕES DE 2018 ATÉ 2019 DA BACIA QUE DRENA PARA BARRAGEM DE PONTO NOVO - BA



LEGENDA

Classes

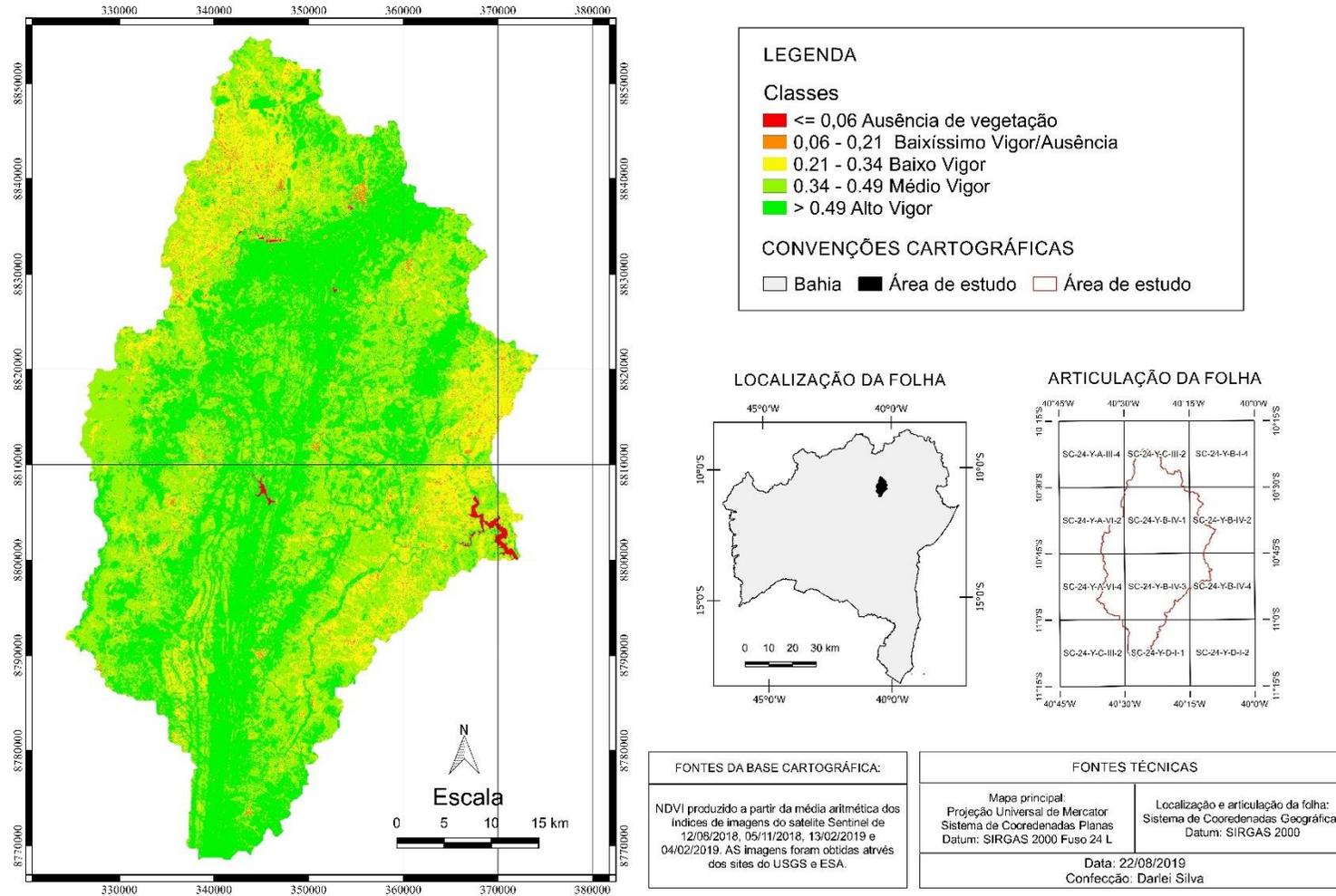
- <= 0,06 Ausência de vegetação
- 0,06 - 0,21 Baixíssimo Vigor/Ausência
- 0,21 - 0,34 Baixo Vigor
- 0,34 - 0,49 Médio Vigor
- > 0,49 Alto Vigor

FONTES DA BASE CARTOGRÁFICA:	FONTES TÉCNICAS
NDVI produzido a partir da média aritmética dos índices de imagens do satélite Sentinel de 12/08/2018, 05/11/2018, 13/02/2019 e 04/02/2019. AS imagens foram obtidas através dos sites do USGS e ESA.	Mapa principal: Projeção Universal de Mercator Sistema de Coordenadas Planas Datum: SIRGAS 2000 Fuso 24 L
	Data: 22/08/2019 Confecção: Darlei Silva

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 16 - Mapa do NDVI da Área de estudo

MAPA DO NDVI DA BACIA QUE DRENA PARA BARRAGEM DE PONTO NOVO - BA



Fonte: Elaborado pelo autor.

7.2.2. Vulnerabilidade nos aspectos antrópicos

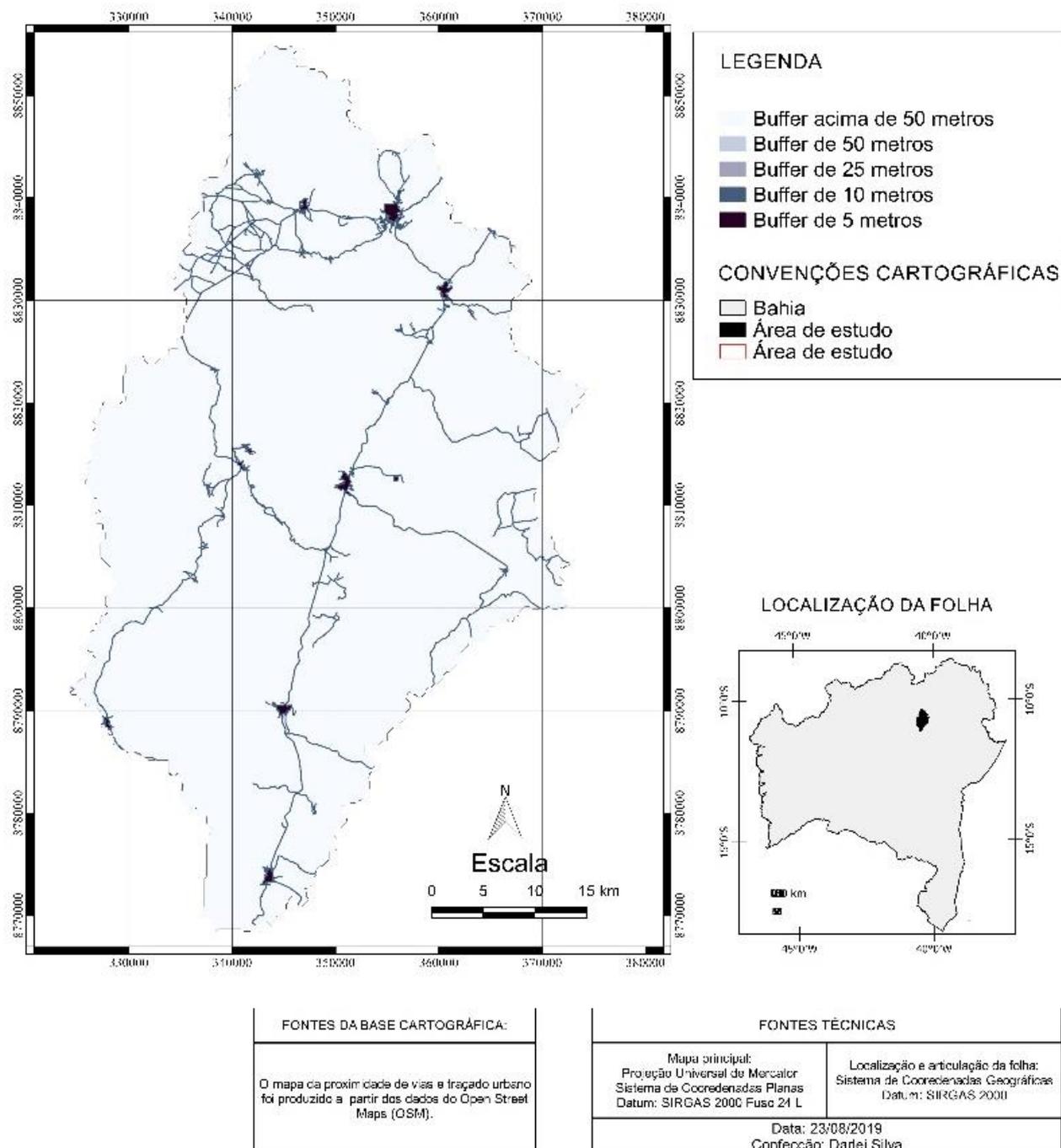
Como já citado anteriormente, a vulnerabilidade ambiental considera os aspectos naturais e os aspectos ambientais. A partir de agora será mostrado os resultados acerca dos aspectos antrópicos.

7.2.2.1. Traçado urbano e vias

O traçado urbano e as vias, como já citado na metodologia, foram considerados por conta da impermeabilidade que fazem no solo. A região conta, como já citado na área de estudo, com 11 municípios. Entretanto, vários deles, como Senhor do Bonfim e a própria cidade que dá o nome (Ponto Novo) não tem a área urbana inserida dentro da bacia. Nesse quesito urbano a cidade que se destaca com maior área é Campo Formoso e outro fator interessante é que a BA 131 corta a bacia e está próxima das áreas das áreas mais altas da unidade geomorfológica da Serra de Jacobina. As áreas urbanas são bastante importantes para o mapa de vulnerabilidade ambiental, pois são nelas que tem a vulnerabilidade ambiental maior, com os motivos já citados anteriormente. Na Figura 17 nota-se a localização desses locais de maior vulnerabilidade.

Figura 17 - Mapa de proximidade de Área urbana e vias

MAPA DA PROXIMIDADE DE VIAS E DO TRAÇADO URBANO DA BACIA QUE DRENA PARA BARRAGEM DE PONTO NOVO - BA



Fonte: Elaborado pelo autor.

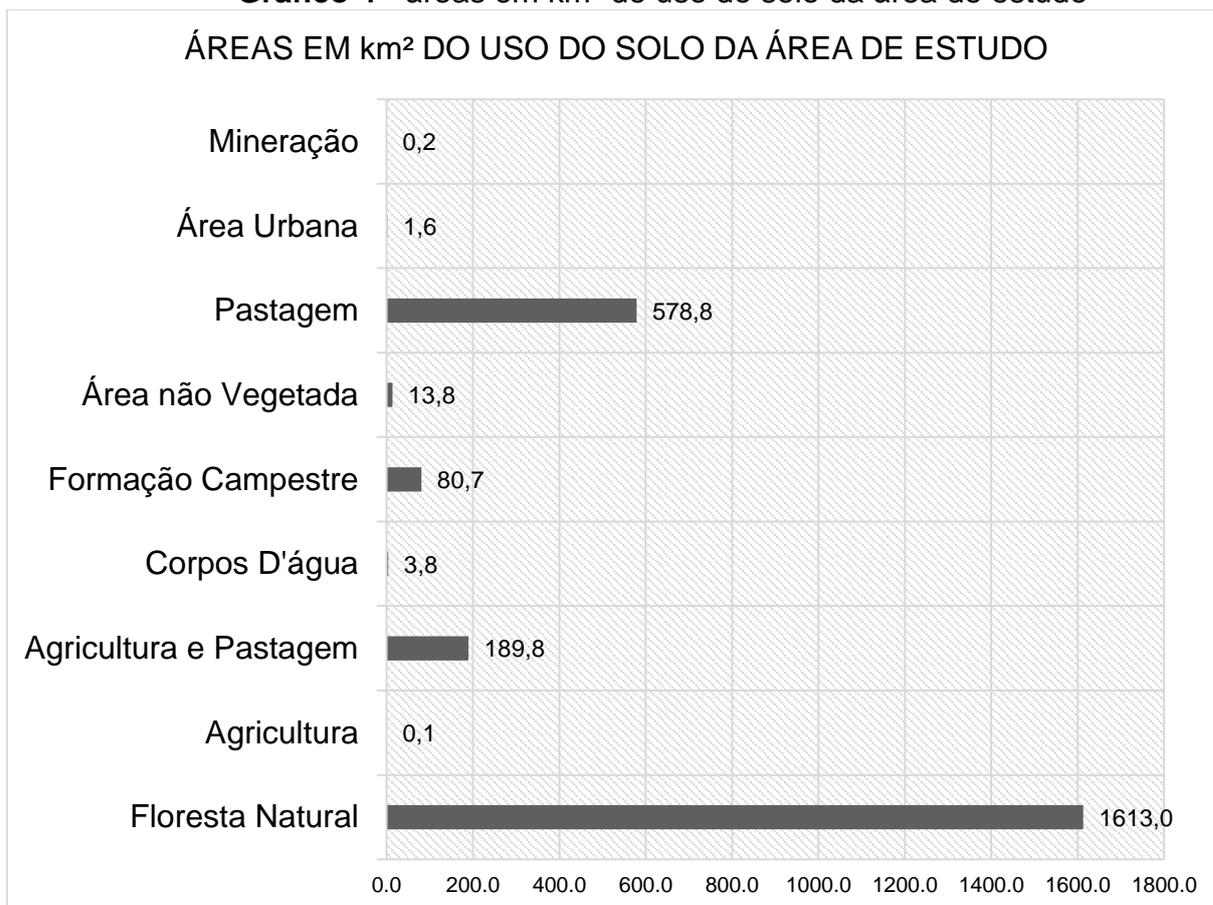
7.2.2.2. Uso do solo (uso da terra)

O uso do solo, também chamado de uso da terra, é a variável que recebe a maior ponderação em relação a vulnerabilidade ambiental à perda de solo. E isso se dá pelo potencial avassalador em que o ser humano vem transformando os ambientes em que está inserido através dos diferentes usos da terra. A erosão do solo é processo natural que ocorre natural, formando-se gradualmente e lentamente, porém com as ações antrópicas esse processo é acelerado e chega a formar sulcos e ravinas, quando o escoamento da água é rápido e irregular (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1990. POLITANO *et al.*, 1992. apud ENDRES, Paula 2006). Segundo Moreira *et al.*, (xxx) o uso do solo afeta até mesmo o a produção de água. Para a autora esse é um dos fatores mais relevantes a ser mais considerados, já que dependendo da forma como a vegetação e o uso do solo por atividades antrópicas é realizado, a produção de água pode ser alterada de forma favorável ou prejudicial para os usuários de bacias hidrográficas.

Na área de estudo como mostra o mapa do uso do solo feito a partir do mapeamento realizado pela plataforma MapsBiomias. Existe uma grande quantidade de área para a pastagem e outra área considerável para a agricultura que são fatores que incrementam de forma considerável a vulnerabilidade ambiental à perda de solo. A pastagem e a agricultura estão localizadas principalmente em áreas planas em proximidade com a Barragem de Ponto Novo, sendo um contraste com as áreas de floresta natural que está localizada próxima da serra. Entretanto na serra existem áreas com mineração e algumas áreas não vegetadas que também é fator que contribui para o aumento do grau de vulnerabilidade ambiental à perda de solo. Outro fator que contribui são as áreas urbanas que por conta da impermeabilidade do solo, áreas desmatadas, etc. ganham um grau elevado de vulnerabilidade, como já citado anteriormente em relação à proximidade das áreas urbanas e vias. A formação campestre não tem um grande grau de vulnerabilidade, assim como as áreas de floresta e isso faz com que as áreas que se localização essa classe tenham um grau de vulnerabilidade ambiental diminuído consideravelmente, porque a variável uso do solo é a que recebe o maior valor de ponderação. Na Gráfico 4, nota-se as áreas das classes de uso do solo dentro da Área de estudo. A área maior é de floresta natural, entretanto essa área se concentra principalmente na unidade geomorfológica da Serra

de Jacobina que tem categoria estrutural convexa (parte oeste), as áreas de pastagem são grandes também, seguida de agricultura e pastagem. Outra área grande também são as formações campestres. A mineração, a área urbana e a área não vegetada, embora em pequena quantidade são áreas que tem vulnerabilidade ambiental à perda de solo bem grande e por conta disso são áreas bem importantes de ser observadas na análise.

Gráfico 4 - áreas em km² do uso do solo da área de estudo

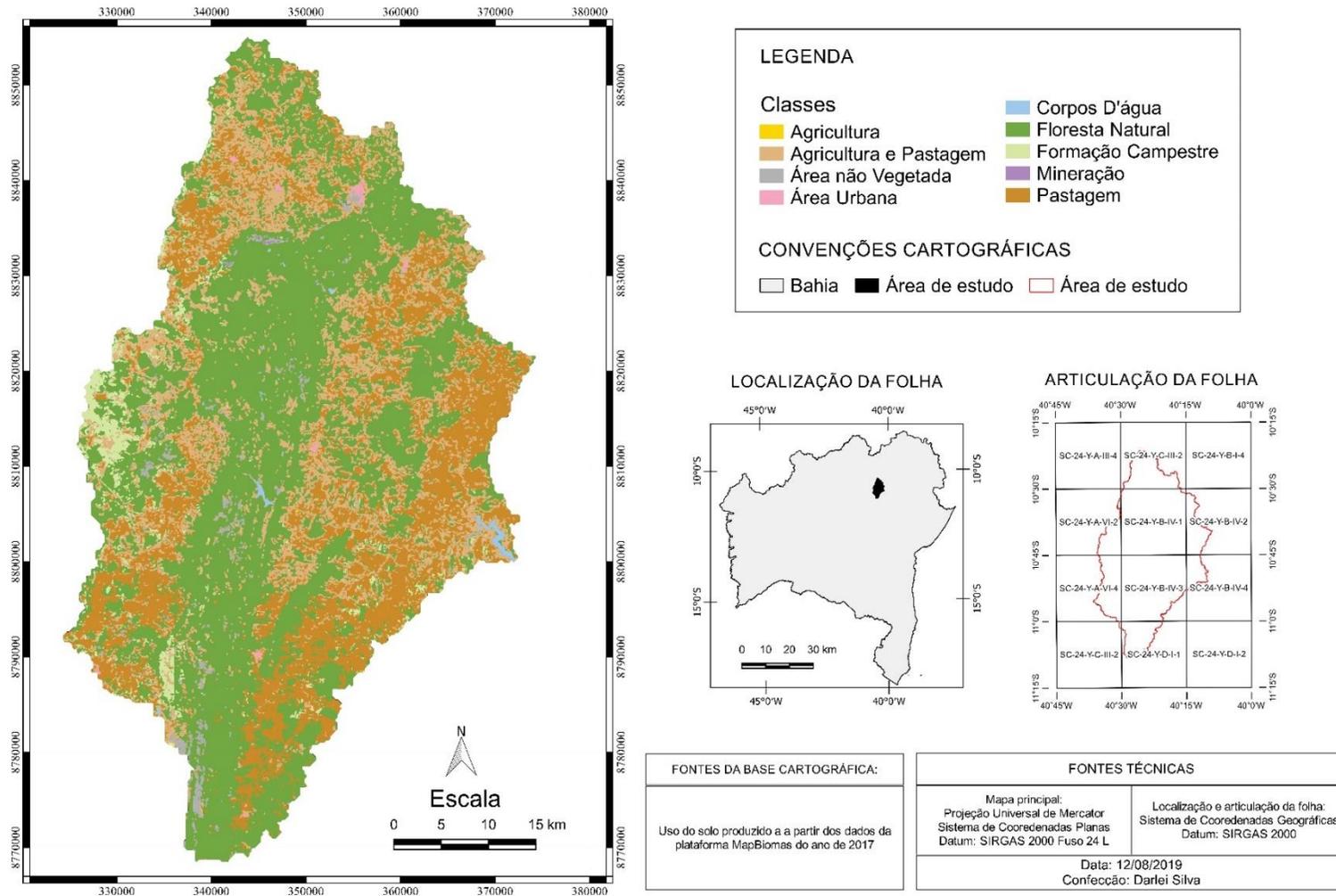


Fonte: Elaborado pelo autor.

Dessa forma, embora as atividades antrópicas sejam importantes para a economia e para a manutenção de alimentos, é necessário que se exista um uso consciente do ambiente em que essas atividades estejam inseridas. Porque dependendo da maneira como é feito o uso do solo, isso pode ser prejudicial até para as próprias atividades, já que degrada o solo fazendo uma série de processos, como erosão, a desertificação, os movimentos de massa, a poluição, a acidificação e a salinização dos solos (FLAUZINO *et al.*, 2016). Na Figura 18 é visto isso espacialmente.

Figura 18 - Mapa de uso do solo/terra da Área de estudo

MAPA DE USO DO SOLO DA BACIA QUE DRENA PARA BARRAGEM DE PONTO NOVO - BA



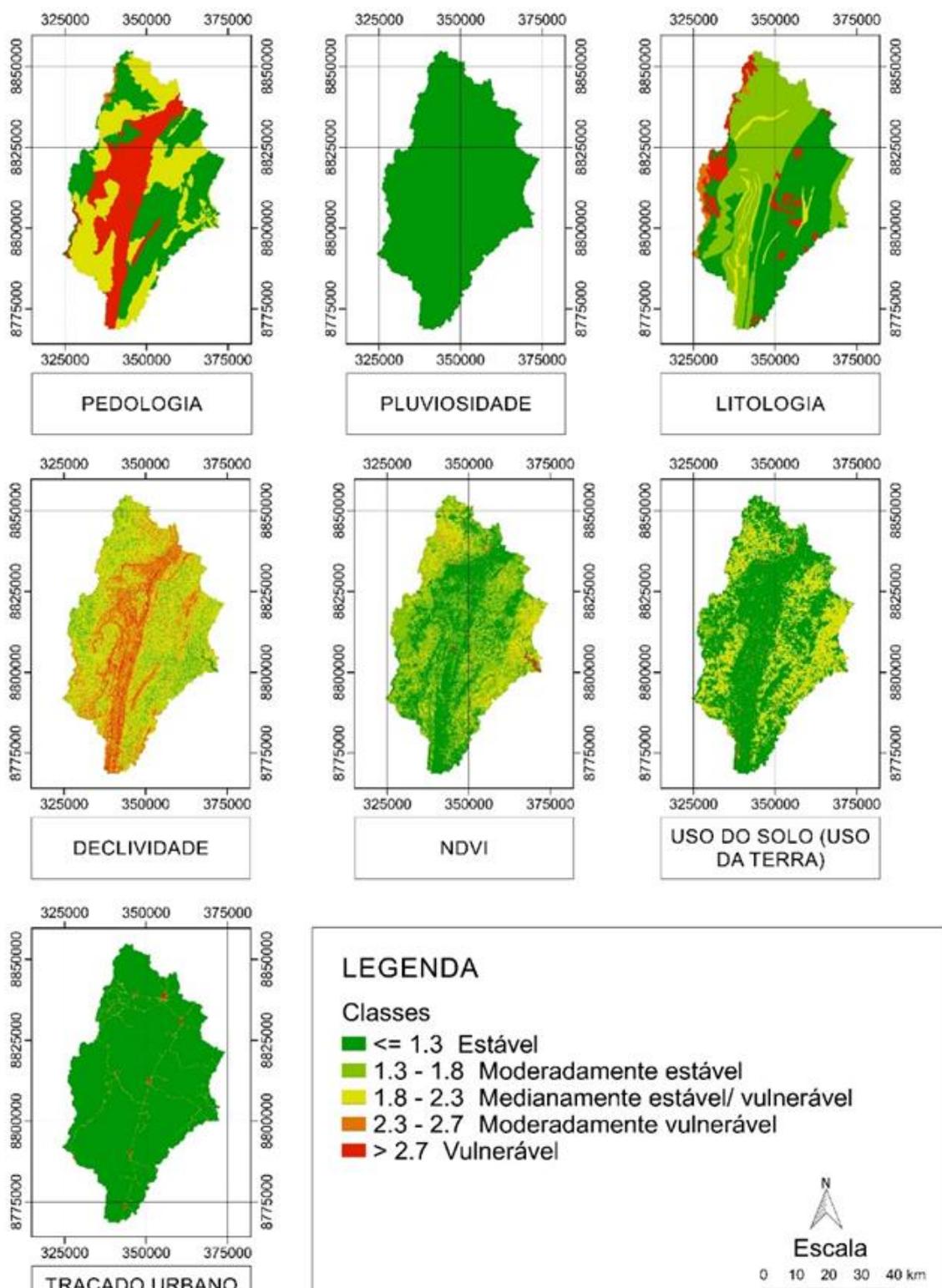
Fonte: Elaborado pelo autor.

7.2.3. Vulnerabilidade natural e vulnerabilidade ambiental em partes

Como já citado anteriormente, a vulnerabilidade natural e a vulnerabilidade foram definidas a partir de diversas variáveis de acordo com os aspectos ambientais. No caso da vulnerabilidade natural, alguns aspectos que chamou atenção foi a alta vulnerabilidade presente na unidade geomorfológica da Serra de Jacobina que tem categoria estrutural convexa (parte oeste). Nessa região, na pedologia por conta de presença de neossolo, e por causa na declividade por conta do alto grau percentual de inclinação do relevo, acabaram recebendo um valor bem alto. Entretanto por causa da pluviosidade baixa e do alto vigor de vegetação, no geral o grau de vulnerabilidade no resultado do mapa de vulnerabilidade natural foi atenuado, ou seja, esses fatores foram importantes para que os resultados não deixassem a região com a classe de vulnerável. No caso da pluviosidade é bom ressaltar que a baixa média mensal de precipitação é ao longo de todo território da área de estudo, então esse fator diminuiu o grau de vulnerabilidade em todas as regiões. No caso litologia, como se nota na Figura 19, tem altas áreas de vulnerabilidade no final da Bacia e próxima do Rio Itapicuru-Açu. No caso do mapa de vulnerabilidade ambiental, os aspectos antrópicos como a área de traçado urbano e as vias como se nota na Figura 19 são as áreas maiores de vulnerabilidade. No caso do mapa de uso do solo, o com maior peso dentro da metodologia (como já citado anteriormente), foi um dos que mais teve influência no resultado do mapa de vulnerabilidade ambiental. As áreas de floresta natural por se localizarem na serra faz com que a área tivesse uma diminuição do grau de vulnerabilidade no local. Isso é importante de ser citado, pois a vegetação natural e as poucas áreas com intervenção antrópica na unidade geomorfológica da Serra de Jacobina que tem categoria estrutural convexa (parte oeste) fazem com que a região que tem naturalmente um potencial enorme para a vulnerabilidade à perda do solo e a erosão tenha seus índices diminuídos. Isso demonstra também a importância da preservação no local. Na Figura 19 está a reclassificação das variáveis naturais e de intervenção antrópica de vulnerabilidade com as classes definidas por Crepani *et al.*, 2001.

Figura 19 - Vulnerabilidade nos diferentes aspectos naturais e antrópicos na Área de estudo.

VULNERABILIDADE DOS DIFERENTES ASPECTOS NATURAIS E ANTRÓPICOS DA ÁREA DE ESTUDO



Fonte: Elaborado pelo autor.

7.3. MAPA DE VULNERABILIDADE NATURAL E MAPA DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL

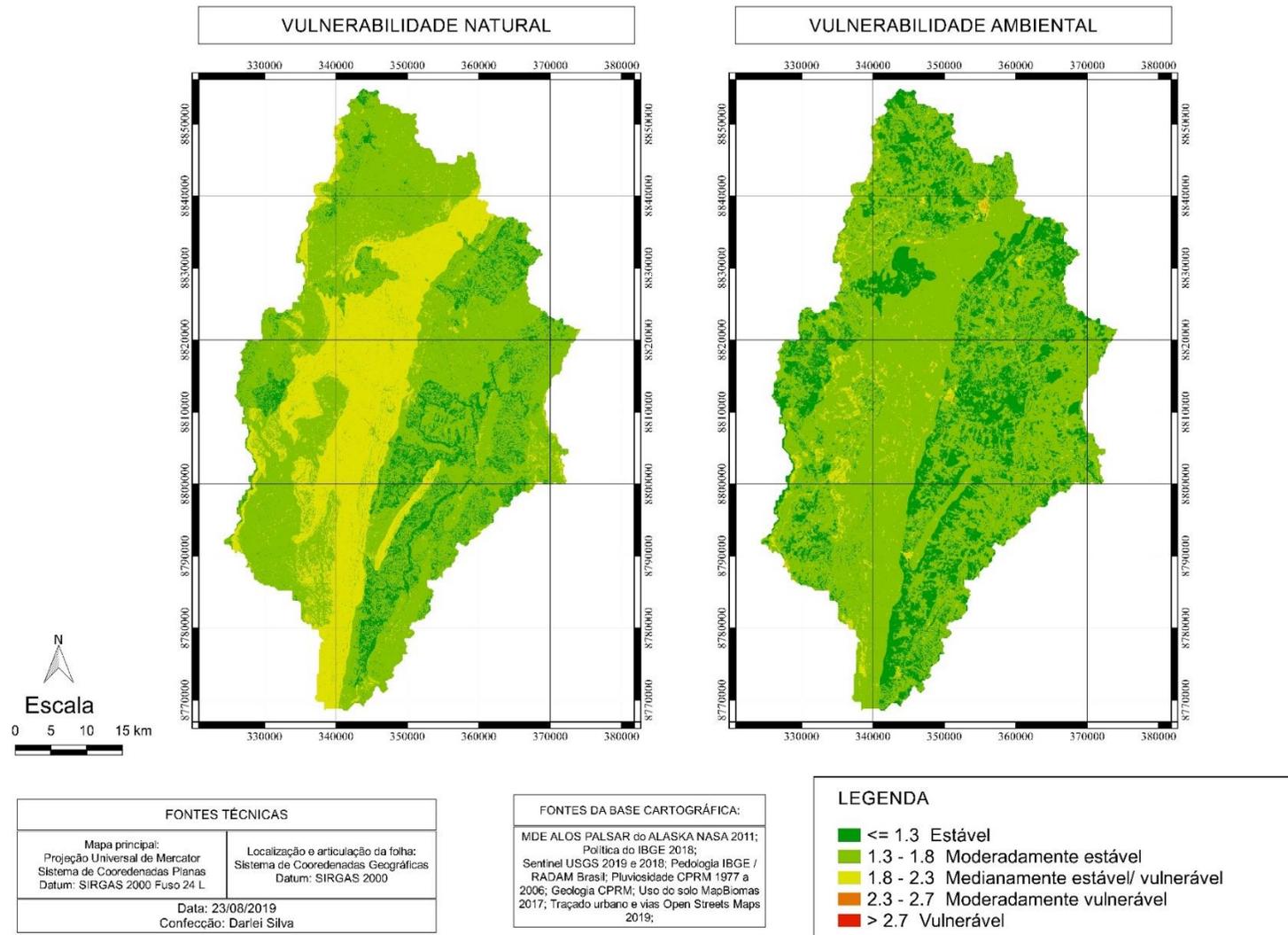
Os mapas indicaram que, segundo as classes de vulnerabilidade estabelecidas por Crepani *et al.*, 2001, tanto no mapa de vulnerabilidade natural como no mapa de vulnerabilidade ambiental, não tem área com a classe vulnerável e pouquíssimas com a classe moderadamente vulnerável.

No mapa de vulnerabilidade natural, existe uma grande área com a classe medianamente estável / vulnerável com mais de 268 km². Esta classe está localizada principalmente na parte mais alta da unidade geomorfológica da Serra de Jacobina, isso se dá principalmente por conta da declividade alta e do neossolo, como já citado anteriormente. No geral, a classe preponderante nesse mapa é a moderadamente estável com mais de 580 km², mas também tem uma parcela pequena da classe estável com mais de 86 km². A classe moderadamente vulnerável tem 0,3 km² e classe vulnerável não tem nenhuma área.

No mapa de vulnerabilidade ambiental, as áreas com maiores índices de vulnerabilidade são as áreas urbanas. Por conta da impermeabilidade do solo nessas regiões o escoamento superficial ocorre de forma mais assídua, gerando problemas ambientais no local. Outro ponto em que se teve altos índices indicado no mapa é na área sudoeste da Área de estudo, próximo da unidade geomorfológica da Serra de Jacobina que tem categoria estrutural convexa (parte oeste), onde possivelmente isso dá pela combinação da vulnerabilidade natural da região com as áreas de pastagem. As áreas da classe medianamente estável / vulnerável somam pouco mais de 34 km² e a maior área nesse mapa é da classe moderadamente estável com mais de 675 km², seguido de estável com 225 km². A classe moderadamente vulnerável tem 0,4 km² e classe vulnerável não tem nenhuma área.

Na Figura 20, nota-se o que foi abordado anteriormente em relação aos mapas de vulnerabilidade natural e o mapa de vulnerabilidade ambiental. No mapa de vulnerabilidade ambiental é visto como existe uma grande área concentrada ao longo das partes altas da região da Serra de Jacobina. No mapa de vulnerabilidade ambiental se percebe como as cidades ganharam altos índices e a parte de extremo sul-sudoeste da Serra de Jacobina, além de outros pontos isolados próximos da mesma.

Figura 20 - Mapas de Vulnerabilidade natural e vulnerabilidade ambiental



Fonte: Elaborado pelo autor.

7.3.1. Vulnerabilidade natural nos municípios

O município que tem a maior área da classe moderadamente vulnerável é Pindobaçu, mas é uma área bem pequena que chega a pouco mais de 0,1 km². Em relação a classe medianamente estável / vulnerável o município que tem a maior área também é Pindobaçu com 63,9 km², seguidos por Saúde com 59, 1 km², Mirangaba com 57, 8 km², Antônio Gonçalves com 51, 3 km² e Campo Formoso com 20,5 km². Isso é importante de ser mostrado porque as áreas dessa classe têm potencial para no futuro se tornar moderadamente vulnerável ou até vulnerável. Além do fato dessas áreas serem todas na parte mais alta da unidade geomorfológica da Serra de Jacobina, sendo em grande parte áreas de nascentes e podendo possivelmente prejudicar no futuro o abastecimento hídrico da Barragem de Ponto Novo. Na Tabela 25, estão as áreas das classes de vulnerabilidade natural de acordo com os municípios presentes na área de estudo. Através da tabela é possível ver como em todos os municípios a classe de maior área é a moderadamente estável, enquanto a menor é a de moderadamente vulnerável.

Tabela 24 - Áreas dos municípios de vulnerabilidade natural dentro da Área de estudo

Município	Estável	Moderadamente estável	Medianamente estável / vulnerável	Moderadamente vulnerável
Antônio Gonçalves	10,5068	60,5521	51,3152	0,0331
Caém	1,9110	16,4307	7,2962	0,0002
Caldeirão Grande	0,5296	5,0207	0,0893	0,0000
Campo Formoso	5,0467	124,1950	20,5188	0,0330
Filadélfia	6,6979	57,7032	1,9453	0,0000
Jacobina	0,0582	5,6066	0,0089	0,0000
Mirangaba	6,2642	104,1047	57,8672	0,0319
Pindobaçu	20,7334	106,5381	63,9853	0,1388
Ponto Novo	1,4585	6,3387	0,5558	0,0000
Saúde	32,9519	97,3771	59,1189	0,0626
Senhor do Bonfim	0,6424	1,9782	0,1039	0,0000

Elaborado pelo autor

7.3.2. Vulnerabilidade ambiental nos municípios

O município que tem a maior área da classe moderadamente vulnerável é Campo Formoso, mas uma área bem pequena que chega a pouco mais de 0,2 km² e é a área urbana da cidade. Em relação a classe medianamente estável / vulnerável o município é Mirangaba com 12,4 km², seguidos por Campo Formoso com 7,8 km², Pindobaçu com 5,5 km², Saúde com 3,6 km² e Antônio Gonçalves com 2,5 km². Nas áreas de maior vulnerabilidade ambiental se percebe que a maioria é nas áreas urbanas das cidades ou nos povoados maiores. Entretanto tem uma área a sudoeste da unidade geomorfológica da Serra de Jacobina que tem categoria estrutural convexa (parte oeste) que tem a vulnerabilidade na classe medianamente estável/vulnerável. Através da Tabela 26 é possível ver como em todos os municípios a classe de maior área é a moderadamente estável, seguida de estável, enquanto a menor é a de moderadamente vulnerável.

Tabela 25 - Áreas dos municípios de vulnerabilidade ambiental dentro da Área de estudo

Município	Estável	Moderadamente estável	Medianamente estável / vulnerável	Moderadamente vulnerável
Antônio Gonçalves	36,1336	83,6621	2,5981	0,0022
Caém	9,3159	15,6365	0,6799	0,0056
Caldeirão Grande	1,4587	4,1395	0,0370	0,0000
Campo Formoso	37,2115	104,4139	7,8901	0,2599
Filadélfia	16,8994	48,6615	0,7780	0,0001
Jacobina	0,0029	4,9086	0,7619	0,0000
Mirangaba	26,6421	129,0805	12,4800	0,0264
Pindobaçu	42,5310	143,2525	5,5440	0,0680
Ponto Novo	2,6750	5,3774	0,3006	0,0000
Saúde	51,0740	134,7044	3,6855	0,0427
Senhor do Bonfim	1,4979	1,1933	0,0318	0,0000

Elaborado pelo autor.

7.4. ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA A CONSERVAÇÃO

As áreas definidas como sendo as áreas para a conservação foram a área da Barragem e a unidade geomorfológica da Serra de Jacobina que tem categoria estrutural convexa (parte oeste) com as áreas próximas dela. Nessas áreas, observa-se que na maioria tem alta vulnerabilidade na declividade e no tipo de solo (neossolo) que são duas das variáveis importante a serem consideradas na vulnerabilidade à perda de solo. Outro aspecto que se nota nessas áreas é que o NDVI atenuou os dados dessa região, sendo assim, caso não tivesse uma grande quantidade de vegetação no local os níveis de vulnerabilidade ambiental seriam bem maiores. Por isso, o que o resultado mostra é necessidade de preservação da vegetação da região, porque como a região tem características naturais que contribui para a vulnerabilidade à perda de solo, é necessário que se conserve esse local. Analisando de forma específica os fatores que contribuíram mais por área para conservação ficaram da seguinte forma:

Área 1 - A parte mais alta da Serra de Jacobina. Nesta área os fatores que contribuíram mais foram o alto grau de inclinação do relevo e o neossolo que é predominante na região. Esta área é berço das nascentes: Rio do Aipim, Rio da Fumaça, Riacho do Ingá, Riacho do Rodeador, Riacho da Capivara, Riacho do Prego, Riacho Pindobaçu e do Rio Payaya. Todas são importantíssimas para a distribuição de água na Bacia que drena para a Barragem de Ponto Novo. Outro Ponto importante a ser citado é que é nessa região que se localiza a Barragem de Pindobaçu que é a segunda barragem mais importante da Área de estudo como um todo, perdendo apenas para a Barragem de Ponto Novo.

Área 2 - Região da Barragem de Ponto Novo foram a combinação do baixo vigor de vegetação com o tipo de solo (planossolo Háplico);

Área 3 - Interflúvio da Sub-bacia do Rio da Pedra com a sub-bacia do Rio Payaya. A parte mais alta da Serra de Jacobina. Nesta área os fatores que contribuíram mais foram o alto grau de inclinação do relevo e o neossolo que é predominante na região;

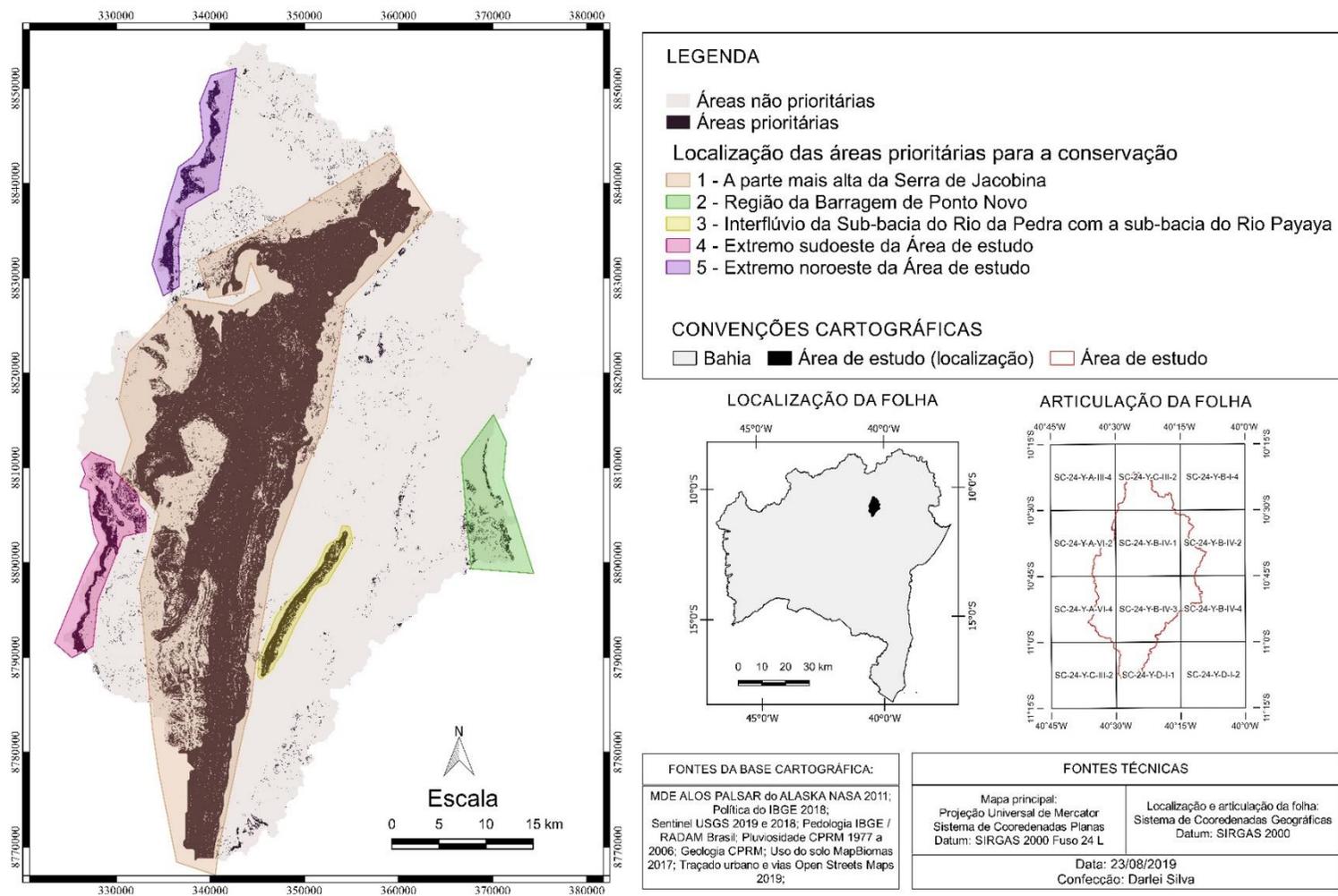
Área 4 - Extremo sudoeste da Área de estudo. Nesta região os fatores que contribuíram para o aumento foram a combinação do tipo de solo (neossolo), com o

baixo vigor de vegetação, associados a um grau de inclinação do relevo médio. Em relação a hidrologia esta área é preocupante por ser nascente do Riacho do Pilão;

Área 5 - Extremo noroeste da Área de estudo. Nesta área os fatores que contribuíram são das quatro variáveis diferentes: a declividade com um grau de inclinação média, o baixo vigor de vegetação, o tipo de solo que é predominante neossolo e a litologia com as Coberturas residuais (Q1rd) que tem predominância de areia argilosa e argila. Em relação a hidrologia esta região preocupa seriamente por nascente do Riacho do Barreiro, Riacho da Lagoa da Roça, Riacho da Fortuna, Riacho da Jurema, Riacho Rego Fundo, Riacho Pajurá e Riacho das Pedras. Todas essas nascentes compõem grande parte das nascentes do eixo norte da Bacia que tem como rio principal o Rio do Aipim.

Na Figura 21 estão localizadas no Mapa as áreas de escolhidas como prioridade para conservação. Nela é possível ver especialmente as áreas de maior prioridade para a conservação.

Figura 21 - Áreas prioritárias para a conservação da Área de estudo
ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA A CONSERVAÇÃO DA BACIA QUE DRENA PARA BARRAGEM DE PONTO NOVO - BA



Fonte: Elaborado pelo autor.

7.5. ÁREAS DE MAIOR ATENÇÃO

As áreas de maior atenção são os resultados mais preocupantes em relação a vulnerabilidade à perda de solo, porque eles já mostram áreas onde houve intervenção antrópica e em alguns casos, como nas regiões urbanas já se tem comprovação que existe a impermeabilidade do solo. Entretanto, é importante ressaltar que nos perímetros urbanos é normal ter um alto índice de vulnerabilidade à perda de solo e aos processos erosivos. No caso deste trabalho, as áreas que se tem maior preocupação é a região a sudoeste da parte mais alta unidade geomorfológica da Serra de Jacobina, porque o foco é identificar as áreas que prejudicam o geossistema natural da Bacia que drena para a Barragem de Ponto Novo, com um foco na distribuição e nos cursos naturais das águas nos rios. Nessas áreas se nota uma vulnerabilidade natural à perda de solo por causa do grau de inclinação do relevo e do tipo de solo (neossolo), e são associadas a ação antrópica nas áreas de pastagem (em alguns casos são povoados na região). Foram geradas sete áreas em que dá 1 até a 5 são áreas urbanas, todas as áreas urbanas a vulnerabilidade ambiental do uso do solo e do traçado urbano e vias elevadas deixam a área com alto grau de vulnerabilidade ambiental à perda de solo. Sendo assim, o foco são as duas áreas finais: a seis e a sete. As áreas são as seguintes:

Área 1 - Área urbana de Antônio Gonçalves. É a menor entre as cidades;

Área 2 - Área urbana de Saúde. É a segunda menor entre as cidades;

Área 3 - Área urbana de Pindobaçu. Além da cidade tem pontos também próximo da Barragem de Pindobaçu;

Área 4 - Área urbana de Campo Formoso. É a maior área urbana e por isso concentra a maior parte de vulnerabilidade ambiental em um polígono sem divisão;

Área 5 - Área urbana de Poços (povoado de Campo Formoso). Embora seja um distrito de Campo Formoso tem estruturas, como o asfalto que a fazem ter comportamento urbano em relação à vulnerabilidade ambiental;

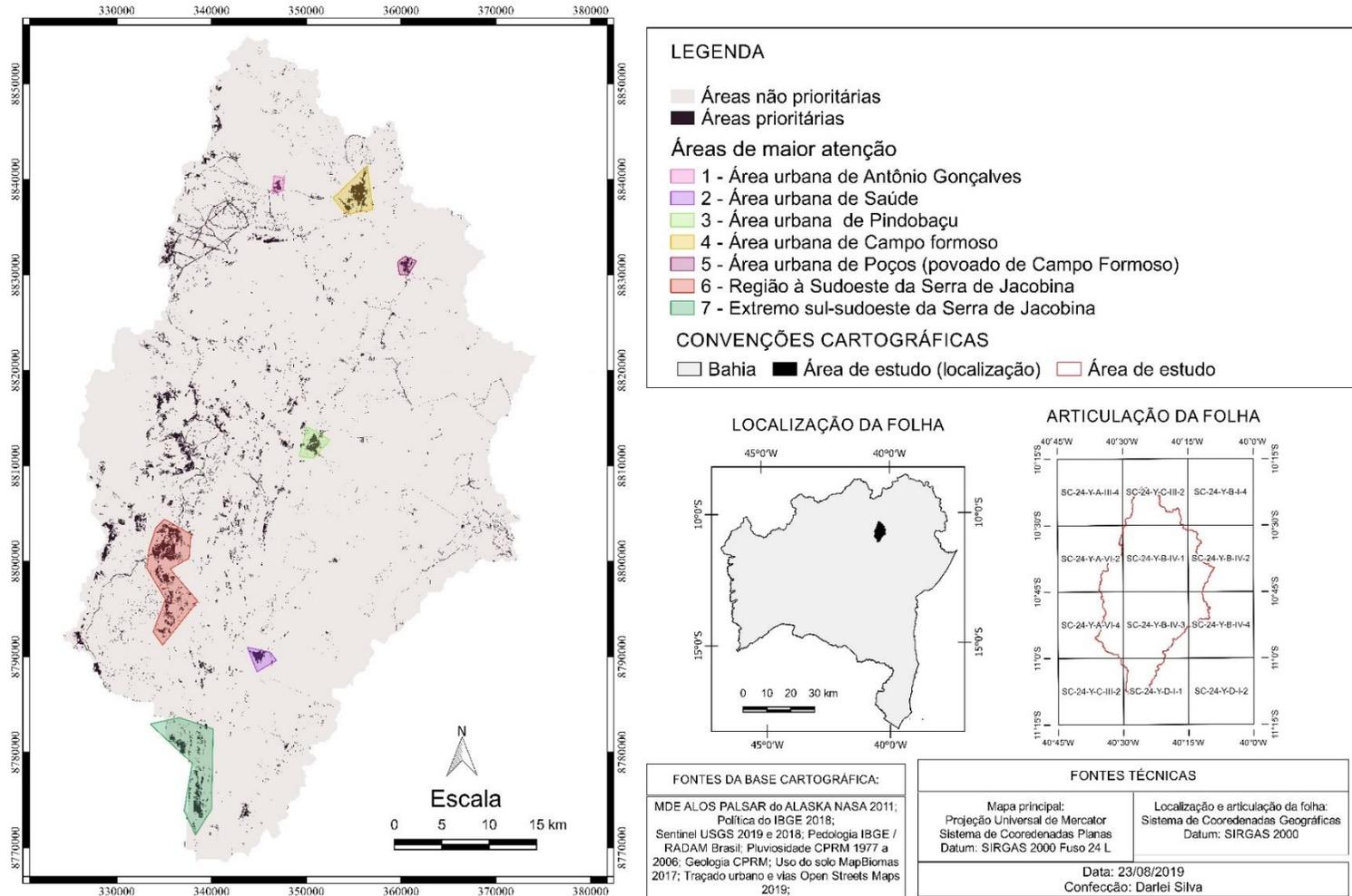
Área 6 - Região à Sudoeste da Serra de Jacobina. Os fatores que contribuíram para que ela se configurasse como área de maior atenção foram o grau de inclinação alto,

o baixo vigor de vegetação, o tipo de solo (neossolo) e principalmente o uso do solo que a região tem áreas de pastagem;

Área 7 - Extremo sul-sudoeste da Serra de Jacobina. Assim como na área as variáveis que contribuíram foram o grau de inclinação alto, o baixo vigor de vegetação, o tipo de solo (neossolo) e principalmente o uso do solo que a região tem áreas de pastagem. Em relação a hidrologia a região merece um maior cuidado por ser a nascente do Rio das Pedras que é afluente importante para o abastecimento hídrico da Bacia que drena para a Barragem de Ponto Novo.

Na Figura 22 estão localizadas no Mapa as áreas de escolhidas como prioridade para conservação. Através dela é possível identificar espacialmente onde estão concentradas as áreas que merecem ter maior atenção em relação a vulnerabilidade ambiental à perda de solo.

Figura 22 - Áreas de maior atenção em relação a vulnerabilidade ambiental à perda de solo da Área de estudo
ÁREAS DE MAIOR ATENÇÃO EM RELAÇÃO A VULNERABILIDADE AMBIENTAL À PERDA DE SOLO DA BACIA QUE DRENA PARA BARRAGEM DE PONTO NOVO - BA



Fonte: Elaborado pelo autor.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises ambientais integradas via SIG seguindo a metodologia adaptada a partir de Crepani *et al.* (2001), Silva e Machado (2014) e Fushimi (2012) foram importantes para a Bacia que drena para a Barragem de Ponto Novo, pois serviram para identificar as áreas de necessidade de prioridade para a conservação e de maior atenção à gestão ambiental territorial independente do município e território a que pertencem. Através dos resultados feitos com os SIG foi possível identificar as áreas onde se tem maior grau de vulnerabilidade natural e vulnerabilidade ambiental e as causas delas, que podem permitir que o CBH Itapicuru e o INEMA possam interferir nas políticas de gestão dando maior atenção à estas áreas. Nas áreas de prioridade para conservação, nota-se que várias dessas áreas estão em nascentes e próximas dos rios, sendo assim, caso não haja cuidado existe no futuro o risco dessas áreas se tornarem vulneráveis à perda de solo e terem processos erosivos que gerem assoreamentos das mesmas, provocando prejuízos na distribuição de água.

É interessante notar que a ação antrópica tem influência direta nos resultados na vulnerabilidade ambiental, e dependendo da forma como o uso da terra será feito no futuro pode aumentar as áreas mais vulneráveis na Bacia que drena para a Barragem de Ponto Novo. Dessa forma, é necessário que exista uma racionalização da maneira como esse uso da terra é feito para que não exista tantos prejuízos ambientais.

Dentro dos resultados foi possível identificar as áreas de cada município que existe uma necessidade para a conservação e atenção maior. Por isso, é interessante para os municípios atuarem de forma conjunta e integrada no cuidado desses pontos principalmente.

É importante ressaltar que mesmo o resultado do trabalho de análise espacial feito faça sentido também na lógica do conhecimento do território pelos autores, é fundamental que haja um trabalho complementar de verificação e análise em campo, que não foi possível ser feito em função das limitações de recursos.

Este trabalho pode servir como base para o desenvolvimento de produtos, como por exemplo, materiais didáticos que mostrem a importância do entendimento sobre a vulnerabilidade ambiental da região, como um exemplo de material didático

pode ser feita uma cartilha. Este trabalho também serve para o desenvolvimento de produtos que servem para auxiliar na gestão ambiental territorial.

Como se notou nos resultados nas partes de maior declividade e também altitude, que são na unidade geomorfológica da Serra de Jacobina que tem categoria estrutural convexa (parte oeste), se diferenciaram bastante das demais partes de Área de estudo e já tinha uma vulnerabilidade naturalmente com potencial à perda de solo e que se não houvesse grandes áreas de floresta natural no local, provavelmente teria altos índices de áreas vulneráveis à perda de solo. Além disso, essa unidade está presente em vários municípios. Por conta deste ambiente e de outras unidades da paisagem com características distintas é necessário ter cuidado diferenciado, em que haja uma gestão integrada dos municípios em cada uma dessas realidades, porque as unidades da paisagem vão além dos limites municipais.

REFERÊNCIAS

AQUINO, Afonso Rodrigues; PALETTA, Francisco Carlos; ALMEIDA, Josimar Ribeiro. **Vulnerabilidade ambiental**. Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo, 2017.

BAHIA, Governo do Estado. **Investimentos garantem 100% da capacidade da Barragem de Ponto Novo**. Infraestrutura. 2019. Disponível em: <<http://www.ba.gov.br/noticias/investimentos-garantem-100-da-capacidade-da-barragem-de-ponto-novo>>. Acesso: 19 jul. 2019.

BAHIA, Governo do Estado. **Regimento do Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos**. Salvador. 2018. Disponível em: <<http://www.inema.ba.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/Regimento-Interno.pdf>>. Acesso: 19 jul. 2019.

BAHIA, Governo do Estado. **SEPLAN, Territórios de Identidade**. Disponível em: <http://www.seplan.ba.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=17>. Acesso: 20 mar. 2019.

BRASIL. LEI Nº 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997. **Política Nacional de Recursos Hídricos**. 1997. Disponível em: < <https://www.ana.gov.br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-sre/alocacao-de-agua/oficina-escassez-hidrica/legislacao-sobre-escassez-hidrica/uniao/lei-no-9433-1997-pnrh/view> > Acesso: 27 jun. 2019.

CREPANI, Edison. *et al.* **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2001.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Blucher, 1999.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Atlas Pluviométrico do Brasil**. Brasília: CPRM, [20-?]. Escala 1:250 000. Intervalo de tempo de 1977 a 2006. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-1351.html>>. Acesso: 02 out. 2019.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Geologia**. Brasília: CPRM, [20-?]. Escala 1:250 000. Disponível em: <<http://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html>>. Acesso: 02 out. 2019.

EARTHDATA. **Alaska Satellite Facility. Vertex**. Distributed Active Archive Centers (DAACs), NASA. Washington, D.C., EUA. 2011. Disponível em: <<https://vertex.daac.asf.alaska.edu/#>>. Acesso: 26 jan. 2019.

EMBASA. **Relatório anual de informação ao consumidor: sistema de abastecimento de água dos municípios de Ponto novo, Filadélfia e Caldeirão Grande e das localidades de Baraúnas, Tijuçu e Quicé (Senhor do Bonfim)**. EMBASA, GOVERNO DA BAHIA, 2015.

EMBRAPA. **Formação do Solo**. Agência EMBRAPA de Informação e Tecnologia, 2019. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn362j9v02wx5ok0liq1mqy0jc9b7.html>. Acesso: 13 jul. 2019.

EMBRAPA. **Solos Tropicais, Argissolos Vermelho-Amarelos**. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000g05ip3qr02wx5ok0q43a0r3t5vjo4.html>. Acesso: 20 out. 2019, 17:51.

EMBRAPA. **Solos Tropicais, Cambissolos Háplicos**. Rio de Janeiro. Disponível em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn1sf65m02wx5ok0liq1mqzx3jrec.html >. Acesso: 19 out. 2019, 19:51.

EMBRAPA. **Solos Tropicais, Latossolos Amarelos**. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000fzyjawywi02wx5ok0q43a0r58asu5l.html>. Acesso: 20 out. 2019, 14:01.

EMBRAPA. **Solos Tropicais, Latossolos Vermelhos-Amarelos**. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000g05ip3qr02wx5ok0q43a0r3t5vjo4.html>. Acesso: 20 out. 2019, 17:51.

EMBRAPA. **Solos Tropicais, Neossolos Litólicos**. Rio de Janeiro. Disponível em <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn230xho02wx5ok0liq1mqxhk6vk7.html>. Acesso: 20 out. 2019, 16:10.

EMBRAPA. **Solos Tropicais, Planossolos**. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_14_2212200611542.html>. Acesso: 20 out. 2019, 17:30.

FUSHIMI, Melina. **VULNERABILIDADE AMBIENTAL AOS PROCESSOS EROSIVOS LINEARES NAS ÁREAS RURAIS DO MUNICÍPIO DE PRESIDENTE PRUDENTE-SP**. Universidade Estadual Paulista - UNESP Faculdade De Ciências E Tecnologia - FCT Campus de Presidente Prudente. Presidente Prudente, SP. 2012.

INEMA. **CBH Itapicuru, caracterização da Bacia**. Governo da Bahia. Disponível em: <<http://www.inema.ba.gov.br/gestao-2/comites-de-bacias/comites/cbh-itapicuru/>> .. Acesso: 20 out. 2019, 14:51.

INPE. **Mapa de Solos**. AMBDATA: Varáveis Ambientais para Modelagem e Distribuição de Espécies, Divisão de Processamento de Imagens. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa_solos.php>. Acesso: 04 fev. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, [2017]. Escala 1:250 000. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geomorfologia/10870-geomorfologia.html?=&t=acesso-ao-produto>>. Acesso: 02 out. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pedologia**. Rio de Janeiro: IBGE, [2017]. Escala 1:250 000. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/10871-pedologia.html?=&t=acesso-ao-produto>>. Acesso: 02 out. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malhas 2018**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Escala 1:250 000. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15774-malhas.html?=&t=downloads>>. Acesso: 02 out. 2019.

MACHADO, Pedro José de Oliveira. TORRES, Fillipe Tamiozzo Pereira. **Introdução à hidrogeografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012. (Textos básicos da geografia)
PISSINATI, Mariza Cleonice. ARCHELA, Rosely Sampaio. **GEOSSISTEMA TERRITÓRIO E PAISAGEM - MÉTODO DE ESTUDO DA PAISAGEM RURAL SOB A ÓTICA BERTRANDIANA**. Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Geociências. Geografia - v. 18, n. 1, jan./jun. 2009.

MAPBIOMAS. **Mapas das coleções**. Brasília: MapBiomass, 2017. Disponível em: <<http://mapbiomas.org/pages/downloads>>. Acesso: 02 out. 2019.

SANTOS, Wagner Valdir dos. **ANÁLISE DA VULNERABILIDADE À EROSÃO DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO MAXIXE NO ALTO SERTÃO DE ALAGOAS.**

Universidade Federal de Alagoas Campus do Sertão. Delmiro Gouveia, AL. 2019.

SILVA, Onildo. **Recursos Hídricos, Ação do Estado E Reordenação Territorial: o Processo de Implantação da Barragem e do Distrito de Irrigação de Ponto Novo no Estado da Bahia – Brasil.** 2018. 375 f. Tese de doutorado pela Universidade de Santiago de Compostela Departamento de Geografia, 2018.

SILVA, Vanessa Cecília Benavides; MACHADO, Patrícia de Sá. **SIG NA ANÁLISE AMBIENTAL: SUSCEPTIBILIDADE EROSIVA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO MUTUCA, NOVA LIMA – MINAS GERAIS.** Recife. Revista de Geografia (UFPE) V. 31, No. 2, 2014.

SPADOTTO, Claudio *et al.* **Fundamentos e aplicações da modelagem ambiental de agrotóxicos.** Embrapa Monitoramento por Satélite Campinas, SP. 2010.

THOMAZIELLO, Sueli. USOS DA TERRA E SUA INFLUÊNCIA SOBRE A QUALIDADE AMBIENTAL. IN: SANTOS, Rozely Ferreira (Org.). **VULNERABILIDADE AMBIENTAL: Desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Organizadora. – Brasília: MMA, Brasília. 2007. Cap. 3, p. 23-38.

TRICART, Jean. **Ecodinâmica.** Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente (SUPREN). Rio de Janeiro, 1997.

TUCCI, Carlos E. M. MENDES, Carlos André. **Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica.** Ministério do Meio Ambiente (MMA), Brasília, 2006.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. CSR Maps. UFMG: Belo Horizonte, [201?]. Disponível em: < <https://maps.csr.ufmg.br>>. Acesso: 02 out. 2019, 16:02.

USGS. **EarthExplorer – Home**. United States Geological Survey. Reston, Virgínia, EUA, 2018. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso: 04 abr. 2019.

USGS. **EarthExplorer – Home**. United States Geological Survey. Reston, Virgínia, EUA, 2019. Disponível em: <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso: 04 abr. 2019.

VEDOVELLO, Ricardo; MACEDO, Eduardo Soares de. DESLIZAMENTOS DE ENCOSTAS. IN: SANTOS, Rozely Ferreira (Org.). **VULNERABILIDADE AMBIENTAL: Desastres naturais ou fenômenos induzidos?**. Organizadora. – Brasília: MMA, Brasília. 2007. Cap. 6, p. 75-94.

WEILL, Mara de Andrade Marinho; NETO, Antonio Gonçalves Pires. EROSÃO E ASSOREAMENTO. IN: SANTOS, Rozely Ferreira (Org.). **VULNERABILIDADE AMBIENTAL: Desastres naturais ou fenômenos induzidos?**. Organizadora. – Brasília: MMA, Brasília. 2007. Cap. 4, p. 39-58.

ANEXO 1 – TABELA DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL DOS SOLOS DE CREPANI, ET AL.,(2001)

Classificação de Solos	Classificação de Solos	Vulnerabilidade
Latossolos Amarelos	Latossolos Amarelos	1,0
Latossolos Vermelho-Amarelos	Latossolos Vermelho-Amarelos	
Latossolos Vermelho-escuros	Latossolos Vermelhos	
Latossolos Roxos	Latossolos Vermelhos	
Latossolos Brunos	Latossolos Brunos	
Latossolos Húmicos	Latossolos (...) Húmicos	
Latossolos Húmicos Brunos	Latossolos Bruno (...) Húmicos	
Podzólicos Amarelos	Argissolos	2,0
Podzólicos Escuros	Podzólicos Vermelho-Argissolos	
Luvissolos	Luvissolos Alissolos	
Nitossolos	Nitossolos	
Terras Estruturadas	Argissolos Roxas	
Brunos Não-Cálcicos	Nitossolos Chernossolos	
Brunizéns	Luvissolos Chernossolos	
Brunizéns Avermelhados	Chernossolos	
Rendizinas	Chernossolos Planossolos	
Planossolos	Planossolos Espodossolos	
Solos Hidromórficos		
Podzóis		
Cambissolos	Cambissolos	
Solos Litólicos	Neossolos Litólicos	
Solos Aluviais	Neossolos Flúvicos	
Regossolos	Neossolos Regolíticos	

Areias Quartzosas	Neossolos Quartzênicos	
Vertissolos	Vertissolos	
Solos Orgânicos	Organossolos	
Solos Hidromórficos (não abúbticos)	Gleissolos	3,0
Glei Húmico	Gleissolos Plintossolos	
Glei Pouco Húmico	Gleissolos Plintossolos	
Plintossolo	Plintossolos	
Laterita Hidromórfica	Plintossolos	
Solos Concrecionados Lateríticos	Plintossolos	
Afloramento Rochoso	Afloramento Rochoso	

Fonte: Crepani *et al.*, (2001).

ANEXO 2 – TABELA DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL DE USO DO SOLO (VEGETAÇÃO) DE CREPANI, ET AL.,(2001)

Cobertura Vegetal	Proteção	Vulnerabilidade
Mata/ Reflorestamento	Alta	~ 1,0
Pastagens	Média	~ 2,0
Agricultura de ciclo curto, café; cana de açúcar	Baixa	~ 3,0

Fonte: Crepani *et al.*,(2001).

ANEXO 3 – TABELA DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL DE PLUVIOSIDADE DE CREPANI, ET AL.,(2001)

Intensidade pluviométrica (mm/mês)	Vulnerabilidade
< 50	1,0
50-75	1,1
75-100	1,2
100-125	1,3
125-150	1,4
150-175	1,5
175-200	1,6
200-225	1,7
225-250	1,8
250-275	1,9
275-300	2,0
300-325	2,1
325-350	2,2
350-375	2,3
375-400	2,4
400-425	2,5
425-450	2,6
450-475	2,7
475-500	2,8
500-525	2,9
>525	3,0

Fonte: Crepani *et al.*,(2001).

ANEXO 4 – TABELA DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL DE GEOLOGIA DE CREPANI, ET AL.,(2001)

Tipos de Rocha	Litologias	Vulnerabilidade
Metamórficas	Quartzitos ou Metaquartzitos	1,0
Ígneas	Riólito, Granito, Dacito	1,1
Ígneas intrusivas	Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos.	1,2
Metamórficas	Migmatitos, Gnaisses	1,3
Ígneas intrusivas	Fonólito, Nefelina, Sienito Traquito	1,4
Ígneas	Andesito, Diorito, Basalto	1,5
Ígneas intrusivas	Anordosito, Gabro, Peridotito	1,6
Metamórficas	Milonitos, Quartzo, Muscovita, Biotita, Clorita xisto	1,7
Ígneas e Metamórficas	Piroxênio, Anfibolito, Kimberlito, Dunito	1,8
Ígneas	Hornblenda, Tremolita, Actinolita xisto	1,9
Metamórficas	Estaurolita xisto, Xistos granatíferos	2,0
Metamórficas	Filito, Metassiltito	2,1
Metamórficas	Ardósia, Argilito	2,2
Metamórficas	Mármares	2,3
Sedimentares	Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	2,4
Sedimentares	Conglomerados, Subgrauvacas	2,5

Sedimentares	Grauvacas, Arcózios	2,6
Sedimentares	Siltitos, Argilitos	2,7
Sedimentares	Folhelhos	2,8
Sedimentares	Mármorees, Calcários, Dolomitos, Mangas, Evaporitos	2,9
Sedimentos	Sedimentos Inconsolidados, Aluviões, Colúvios etc.	3,0

Fonte: Crepani *et al.*, (2001).